



Escola Tècnica Superior d'Enginyers
de Camins, Canals i Ports de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

PROJECTE O TESINA D'ESPECIALITAT

Títol

GESTIÓ D'APARCAMENTS EN AEROPORTS

722-TES-CA-5324

Autor/a

ÒSCAR PÉREZ TEIS

Tutor/a

César Trapote Barreira i Francesc Robusté Antón

Departament

Infraestructura del Transport i del Territori

Intensificació

Transports

Data

14 de Maig de 2012

RESUM

L'augment de les infraestructures de transport ha portat grans inversions també a les terminals associades als diferents modes de transport. En aquest punt és en el qual es centra la tesina, en trobar quina és la inversió necessària i com realitzar-la perquè sigui el més rendible econòmicament possible.

La inversió en què es centra la tesina és en els aparcaments associats a les terminals d'aeroport, no tan perquè siguin grans inversions si es comparen amb el cost total d'una ampliació d'una terminal o la construcció d'una terminal nova, sinó pel fet de realitzar una inversió que obtingui uns beneficis els més importants possibles.

El factor clau és quina és la distribució de les places d'aquest aparcament ja que tot i que el gestor és el que busca, no pot utilitzar només el criteri de maximització dels beneficis, ja que es pot trobar que la infraestructura no és atractiva per a l'usuari i que aquest utilitzi altre modes de transport per a accedir a la terminal.

Per poder realitzar un bon dimensionament dels aparcaments, primer de tot s'ha realitzat un estudi detallat dels costos associats als aparcaments. D'aquests costos, no només es poden analitzar els costos de la inversió inicial degut a que tot i que poden ser importants, es troben molt concentrats a l'inici de la concessió, i per tant també s'han de tenir presents els costos d'explotació dels aparcaments. Aquests depenen directament de la distribució que s'ha realitzat dels aparcaments de curta i llarga estada i apareixen tots els anys de la concessió.

L'últim cost que s'ha d'analitzar és el cost del temps de connexió de l'usuari de l'aparcament a la terminal, perquè és un valor a tenir molt present, no per a l'estudi econòmic, però sí per veure si cada distribució plantejada serà o no funcional des del punt de vista dels usuaris.

Un cop determinats tots els elements que influiran en la rendibilitat econòmica de la infraestructura projectada, s'ha realitzat un estudi de com es pot determinar la quantitat de vehicles als que es voldrà atendre en un any horitzó a partir d'una gran quantitat de factors que influeixen més directa o indirectament la demanda futura esperada.

A partir de la quantitat de vehicles que es volen atendre a l'any horitzó es realitza el dimensionament de la infraestructura segons els criteris del gestor. Per poder posar una mica de llum sobre quines són les palanques de maniobra del gestor a partir de les quals modificar la distribució dels aparcaments per poder obtenir una rendibilitat econòmica desitjada, s'ha realitzat un estudi de sensibilitat de totes les variables que influeixen en la quantitat de vehicles que rebran els aparcaments.

Amb aquest estudi s'ha determinat quines són les variables que pot modificar el gestor i quines són les que ha de tenir controlades durant tota la concessió per si es produeixen canvis en els escenaris globals futurs i que puguin modificar de forma substancial els resultats econòmics dels aparcaments.

Finalment s'han plantejat 3 escenaris tipus d'aeroports totalment diferents per poder realitzar una aproximació de com s'hauria de realitzar la distribució dels aparcaments i quines són les possibles variacions que es podrien realitzar depenent de cada cas. En la mateixa línia, s'ha realitzat la caracterització dels costos generalitzats dels usuaris que són els que percebrà quan utilitzi la infraestructura per accedir a la terminal.

Paraules clau: Usuaris, vehicles, costos, palanques de maniobra, aparcament de curta estada, aparcament de llarga estada, rendibilitat econòmica, sensibilitat.

ABSTRACT

The recent increase in transport infrastructures has also led to large investments in terminals associated with different modes of transport. This is the point in that the dissertations focuses on, finding what is the investment required and how to do it to make is as profitable as possible.

The investment is focused on the car parking associated with airport terminals, not because is a great investment when are compared with the total cost of an expansion or building a new terminal, but by investing to get the largest possible profits.

The key factor is how is the distribution of parking spaces, because although the manager is seeking that, not only can use the criterion of profit maximization, since you can find that the infrastructure is no attractive for the user and then they use other modes to access to the terminal.

To make good sizing of the car parking, first of all has made a detailed study of costs associated with parking. Of these costs, not only can analyse the costs of initial investment because although it may be important, are highly concentrated at the beginning of the concession, and therefore must take into account the costs operating the car parking. These are directly dependent on the distribution to be made of short and long car parking are and all the years of the concession.

The final cost to be analysed is the cost of connection time for the user of the car park to know whether or not the distribution will be raised from the functional point of view of users.

After planning all the elements that influence the profitability of the infrastructure, a thorough study of how to determine the amount of vehicles that want to attend in the horizon year form a lot of factor influence the expected future demand.

From the amount of vehicles they wish to attend the horizon year is done sizing the infrastructure according to the manager criteria. To put some light on what levers to manoeuvre manager from which modify the distribution of car parks in order to obtain a desired profitability, we have studied the sensitivity of all the variables that influence in the amount of vehicles that receive the parking.

With this research was to determine the variables that the manager can change and what they should be monitored throughout the concession if changes occur in the future and global scenarios that could substantially change the economic results of parking.

Finally raised stage 3 totally different types of airports to carry out such an approach should make the distribution of parking and what are the possible variations that could be made depending on each case. In the same vein, there has been widespread characterization of the costs that users receive when they are using the infrastructure to access the terminal.

Keywords: Users, vehicles, cost levers for manoeuvring, short term parking, long term parking, profitability, sensitivity.

AGRAÏMENTS

Quan et trobes davant de la redacció d'aquesta part de la tesina és quan te n'adones que la feina per la qual has passat moltes hores llegint llibres, fent recerques bibliogràfiques amb més o menys èxit, donant moltes voltes a una simple equació o intentant escriure allò que tens al cap però que sembla que les paraules adients no existeixen està arribant al final.

La realització i redacció de la tesina és una feina per la qual no hem estat ensenyats tots aquests anys a la universitat i és la principal font de preocupacions i males estones dels últims mesos, ja que fer ciència és molt difícil. Per altra banda, la satisfacció que es sent un cop comences a veure la llum i comencen a aparèixer els primers resultats supera de llarg aquestes males estones.

I és gràcies a tota la gent que m'ha envoltat aquests últims anys que puc estar escrivint aquestes línies ja que sempre han estat allà sobretot no deixant caure els ànims en els moments més difícils de la carrera i de la realització de la tesina.

Ho voldria agrair als meus pares i en especial a la Carol, els quals han patit amb més intensitat tots els diferents estats d'ànim pels que he passat durant tots els dies de la carrera, les inacabables èpoques d'exàmens i la cirereta final del projecte i la tesina.

Al Francesc Robusté que va ser el primer que en el llunyà més de Juny de l'any 2010 em va donar l'oportunitat de poder realitzar una tesina d'una temàtica interessant però desconeguda i que ha servit per a aprendre molt sobre el tema.

A l'Àlvar Garola, que ja a prop de la finalització de la tesina em va donar un cop de mà en els temes de la rendibilitat i la seva implementació en el model final.

I en especial, al César Trapote, a qui mai li podré agrair suficient la quantitat d'hores que ha dedicat a orientar-me en la definició final de la tesina i que a cada situació de saturació personal meva ha sabut com fer-me tornar a il·lusionar per la tesina. Espero que en el futur podem tornar a coincidir ja que sempre serà algú important per a mi.

ÍNDIX DE CONTINGUTS

RESUM.....	2
ABSTRACT	3
AGRAÏMENTS.....	4
ÍNDIX DE CONTINGUTS.....	5
ÍNDIX DE TAULES	8
ÍNDIX DE FIGURES.....	9
1. INTRODUCCIÓ I OBJECTIUS	10
1.1 Introducció i consideracions prèvies.....	10
1.2 Objectius	12
2. ESTAT DE L'ART	13
2.1 Tipologies de pàrquings	13
2.1.1 Segons la titularitat	13
2.1.2 Segons el règim d'estacionament	14
2.1.3 Segons la seva distribució	14
2.2 El pàrquing de l'aeroport	15
2.2.1 Distribució de l'aparcament	16
2.2.2 Necessitats del pàrquing	18
2.2.3 Rivalitat amb el Transport Públic	20
2.2.4 Situació actual	20
2.3 Problemàtiques en el dimensionament dels aparcaments als aeroports.....	21
3. COSTOS DELS APARCAMENTS	23
3.1 Costos de construcció	23
3.2 Costos d'explotació	24
3.2.1. Costos d'explotació referents a l'edifici	24
3.2.2 Costos d'explotació associats a la connexió.....	29
3.3 Costos de connexió de l'usuari.....	33
3.3.1 Cost d'accés al servei.....	34
3.3.2 Cost d'espera.....	36
3.3.3 Cost de trajecte	36
3.3.4 Cost de destí.....	40
3.3.5 Cost de l'aparcament	41

3.3.6	Cost d'accés al destí	43
4.	DESENVOLUPAMENT METODOLÒGIC.....	45
4.1	Obtenció de la demanda futura de vehicles	45
4.2	Obtenció del nombre de places necessàries a cada tipologia d'aparcament.....	50
4.3	Determinació de les dimensions dels aparcaments a construir	51
4.4	Determinació de la rendibilitat econòmica de la inversió	52
4.4.1	Taxa Interna de Rendibilitat (TIR).....	53
4.4.2	Paràmetres modificables.....	56
5.	COSTOS GENERALITZATS DELS USUARIS	58
5.1.	Variables.....	58
5.1.1.	Tarifa	59
5.1.2.	Valor del Temps.....	59
5.2.	Cost Generalitzat.....	59
5.3.	Aplicació pràctica	60
6.	ESTUDI DE SENSIBILITAT.....	63
6.1	Estimació dels paràmetres necessaris per a l'estudi de sensibilitat	63
6.1.1	Paràmetres relacionats amb l'estimació de la demanda futura	63
6.1.2	Paràmetres relacionats amb l'estimació dels costos de construcció i gestió	66
6.1.3	Paràmetres relacionats amb l'estimació dels ingressos de l'explotació	69
6.2	Resultats obtinguts de l'estudi de sensibilitat	69
6.2.1.	Resultats de l'estudi de sensibilitat respecte les palanques de maniobra	69
6.2.2	Conclusions de les palanques de maniobra	76
6.2.3.	Resultats de l'estudi de sensibilitat respecte els paràmetres externs.....	76
6.2.4	Conclusions dels paràmetres externs	81
7.	MODEL.....	82
8.	ESCENARIS FUTURS	85
8.1.	Hub Internacional.....	85
8.1.1.	Presentació de les variables	85
8.1.2.	Dimensionament obtingut	86
8.2.	Aeroport regional turístic.....	86
8.2.1.	Presentació de les variables	86
8.2.2.	Dimensionament obtingut	88
8.3.	Aeroport domèstic	89
8.3.1.	Presentació de les variables	89

8.3.2. Dimensionament obtingut	90
9. CONCLUSIONS I INVESTIGACIÓ FUTURA	91
9.1. Conclusions.....	91
9.2. Investigació futura.....	93
10. REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES.....	95
Pàgines web consultades	96

ÍNDEX DE TAULES

Taula 1. Relació entre les tipologies d'aparcament, durada de l'estada i places necessàries....	18
Taula 2. Caracterització dels vols atrets segons el motiu del viatge.....	48
Taula 3. Resum dels paràmetres a utilitzar a l'estudi de sensibilitat	66
Taula 4. Caracterització de l'aeroport Hub Internacional	85
Taula 5. Caracterització de l'aeroport regional turístic.....	87
Taula 6. Caracterització de l'aeroport domèstic	89

ÍNDEX DE FIGURES

Figura 1. Esquema del recorregut de la línia de <i>shuttle</i> entre la terminal i l'aparcament de llarg termini	37
Figura 2. Costos Generalitzats dels usuaris	61
Figura 3. Variació de la TIR en funció del percentatge de places de curt termini	70
Figura 4. Variació de la TIR en funció del percentatge de la demanda futura satisfeta	71
Figura 5. Variació de la TIR en funció de la durada del finançament	72
Figura 6. Variació de la TIR en funció de tarifa de curta estada	73
Figura 7. Variació de la TIR amb la tarifa de llarga estada	74
Figura 8. Variació de la TIR amb la distància de l'aparcament de LT a la terminal	75
Figura 9. Variació de la TIR en funció de l'interval de pas	76
Figura 10. Variació de la TIR amb la taxa de creixement de ST	77
Figura 11. Variació de la TIR amb la taxa de creixement de LT	78
Figura 12. Variació de la TIR en funció del percentatge de TP i taxi	79
Figura 13. Variació de la TIR en funció del rati de passatgers per vehicle a l'aparcament de ST80	
Figura 14. Variació de la TIR en funció del rati de passatgers per vehicle a l'aparcament de LT80	
Figura 15. Resultats relacionats amb la construcció dels aparcaments	83
Figura 16. Botó d'activació de les Macros	83
Figura 17. Menú de comandaments de la Macro	84
Figura 18. Mostra del rang a triar	84
Figura 19. Resultats de l'estudi de rendibilitat de la inversió	84

1. INTRODUCCIÓ I OBJECTIUS

1.1 Introducció i consideracions prèvies

La globalització mundial ha portat com és conegut per a tothom a la suavització o desaparició de la gran majoria de les fronteres de tots els països del món pel que fa a la informació, als béns econòmics i a les persones.

La possibilitat així com la necessitat de moviment de les persones per tot el món, ha portat a que el transport aeri comercial hagi experimentat en les últimes dècades un augment de la seva quota de mercat molt important. Aquesta tendència ha anat en augment encara més amb l'aparició de les companyies de baix cost que han fet possible que persones de rendes anuals relativament baixes puguin viatjar en avió.

Aquesta dinàmica ha portat a la necessitat de l'ampliació o construcció de noves terminals per a passatgers en els principals aeroports mundials. Aquestes modificacions en el costat de terra dels aeroports han provocat, arrossegats per aquests augments de la demanda de connexió aèria mundial, un augment molt important dels usuaris que utilitzen les terminals, tan si són passatgers com persones que porten o recullen a passatgers.

El fet d'atraure molts més passatgers anualment a la terminal de l'aeroport ha provocat també modificacions en les connexions dels aeroports amb les ciutats com pot ser l'ampliació de les carreteres, reforç o aparició nous serveis de connexió de transport col·lectiu...

Relacionat amb l'accés a la terminal amb vehicle privat, l'element dins de la terminal en el que s'han centrat totes les modificacions ha estat l'aparcament. Com a conseqüència principal del gran volum de vehicles que els utilitzen anualment són infraestructures que poden arribar a ser molt rendibles per a l'aeroport.

Aquesta rendibilitat es centra bàsicament en el fet que es faci un bon dimensionament en la fase de projecte per a construir un conjunt d'aparcaments que durant el seu període de vida útil no estiguin infrautilitzats o amb demandes per sobre de les previsions que portin a una saturació de la infraestructura.

En el primer cas, és una situació no desitjada pel fet d'haver realitzat una inversió excessiva i que no s'obtingui el resultat econòmic desitjat. Pel que fa a la segona opció, es

produirà una disminució del nivell de servei i una conseqüent pèrdua d'usuaris que també portarà a mals resultats econòmics.

En canvi, si es realitza un dimensionament acurat el resultat econòmic que s'obtindrà serà molt bo, degut a que s'haurà aprofitat al màxim la infraestructura tots els anys anteriors a l'any horitzó, any en el que s'assolirà el nivell de servei a l'usuari fixat com a objectiu. Per a realitzar un bon dimensionament dels aparcaments és necessari adaptar l'oferta als patrons de comportament dels usuaris.

Com a conseqüència d'aquest fet, ja fa bastants anys que van aparèixer les dues tipologies d'aparcament a les terminals d'aeroport, el de curta estada i el de llarga estada, que permeten distribuir els usuaris segons el seu temps de permanència al pàrquing segons si hi estan hores o dies i que es caracteritzen a continuació:

- Aparcament volumètric

L'aparcament volumètric és aquell pàrquing que es situa proper a la terminal, normalment amb accés a la terminal sense realitzar grans desplaçaments a peu, que degut al gran nombre de places a les que vol donar servei i a la poca superfície disponible té més d'una planta. Aquest aparcament també és conegut normalment com aparcament de curt termini o *short term parking* ja que els usuaris d'aquest acostumen a realitzar estades curtes inferiors a un dia de durada. Conseqüència d'aquestes estades curtes dels diversos usuaris, el règim intern d'aquest aparcament és de gran rotació ja que una mateixa plaça és utilitzada diverses vegades al llarg del dia.

Quan es parli de les dimensions geomètriques de l'aparcament volumètric es farà referència a l'amplada de la infraestructura (b), la longitud de l'edifici (l), a l'alçada (h) o a la superfície ocupada per planta (S).

- Aparcament de superfície

L'aparcament de superfície és aquell que es situa a una certa distància de la terminal entre uns centenars de metres i pocs quilòmetres. El desplaçament entre aquest aparcament i la terminal es realitza mitjançant un servei d'autobusos de connexió a disposició de l'usuari ja que aquest pàrquing en la gran majoria dels casos està situat fora dels límits de l'aeroport. Aquest aparcament també és conegut com a aparcament de llarg termini o *long term parking* perquè els usuaris acostumen a realitzar estades que poden variar entre uns quants dies fins a varies setmanes.

En referència a l'aparcament en superfície quan es parli de les seves dimensions geomètriques es parla de la seva amplada (b), la seva longitud (l) i la seva superfície (S).

L'aprofitament d'aquesta variació en l'ordre de magnitud de l'estada a l'aparcament ha estat molt important, ja que ha permès adaptar molt més les tarifes als usos dels passatgers i així poder-ne captar molts més.

A més, amb la segregació en dues localitzacions tan diferenciades com a tocar de la terminal l'aparcament de curt termini i a uns quants quilòmetres el de llarg termini connectada amb la terminal mitjançant un servei de connexió d'autobusos, ha permès també adaptar molt millor la inversió a realitzar en la construcció dels pàrquings a les necessitats dels usuaris en cada cas i així poder obtenir un resultat econòmic final molt positiu.

1.2 Objectius

Com s'ha pogut veure, un aparcament d'una terminal d'aeroport pot arribar a ser molt rendible per als gestors de la terminal, de forma que un bon dimensionament d'aquests aparcaments és molt important.

En aquesta línia d'actuació els objectius de la tesina són els següents:

- Conèixer de forma exhaustiva els elements del procés de construcció i explotació que intervenen de forma important en el resultat econòmic de la infraestructura.
- Identificar totes les variables i factors que intervenen en la determinació del nombre de vehicles que pot rebre una terminal a partir del nombre de passatgers que està previst que arribin a la terminal.
- Realització d'un model que permeti calcular el nombre de places d'aparcament necessàries per a donar un bon servei als usuaris de l'aeroport i poder-ne calcular la seva rendibilitat econòmica.
- Identificació de les palanques de maniobra que té el gestor en el moment del dimensionament de la configuració de l'aparcament per a obtenir una rendibilitat esperada. Aquestes palanques es determinaran a partir d'una anàlisi de sensibilitat de les variables independents en el procés en relació amb la TIR.
- Realitzar una aplicació a tres models d'aeroport diferents fent una estimació de com s'hauria de realitzar el dimensionament en cada escenari.
- Estimació de l'evolució dels costos generalitzats dels usuaris al llarg de la concessió dels aparcaments.

2. ESTAT DE L'ART

Els aparcaments són una part essencial del qualsevol sistema de transport d'una comunitat moderna. L'activitat econòmica d'una zona comercial es veu potenciada per la seva presència. El concepte d'aparcament no només fa referència al lloc físic on s'estacionen els vehicles, sinó al lloc des d'on els conductors accedeixen, realitzen un recorregut per buscar un lloc per aparcar i es desplacen fins al seu destí final per a posteriorment tornar i retirar el seu vehicle. (Caicedo, 2005)

2.1 Tipologies de pàrquings

De tipologies de pàrquings n'hi ha moltes i es poden classificar de diverses formes: segons la seva titularitat, segons el règim d'estacionament i segons la seva distribució.

2.1.1 Segons la titularitat

A partir de la titularitat del pàrquing, se'n poden desprendre 3 subcategories; el pàrquing públic, el pàrquing privat i el de titularitat pública però en concessió per una empresa privada.

Els aparcaments públics són aquells que es troben en sòl o subsòl públic i que la seva explotació i manteniment el realitza l'autoritat corresponent. (Nadal, 2008) En aquest grup ens podem trobar amb les zones blaves, zones verdes, zones d'aparcament lliure o regulat, ja siguin gratuïtes o amb tarifació pública.

Els aparcaments privats són aquells que pertanyen a una entitat o propietari privat, el qual es fa càrrec del seu manteniment i la seva explotació. (Nadal, 2008) En aquest sentit els aparcaments que compleixen clarament amb aquestes característiques són els aparcaments de les comunitats de veïns, els de les cases unifamiliars o els distribuïts per zones de les ciutats situats en espais totalment privats.

Els aparcaments de titularitat pública en concessió, són aquells pàrquings típicament de ciutat que responen a una necessitat social de places d'aparcament promoguts per l'Ajuntament corresponent. Aquesta concessió es realitza a una empresa privada que s'encarrega de la seva construcció i posterior manteniment a canvi dels beneficis obtinguts en l'explotació de la infraestructura durant un període de temps determinat.

2.1.2 Segons el règim d'estacionament

Si s'intenta classificar els pàrquings que existeixen a partir del règim d'estacionament, també ens trobarem amb 3 tipologies diferents, el de rotació, el de pupil·latge i el mixt.

Els pàrquings de rotació són aquells pàrquings típicament públics on no hi ha cap plaça assignada, on l'aparcament és lliure i no hi ha cap restricció a l'accés. En aquesta tipologia el preu a pagar es calcula a partir d'una tarifa establerta en funció del període de temps que el vehicle es troba a l'interior del pàrking. (Nadal, 2008)

Els pàrquings de pupil·latge tenen un tractament totalment diferent, ja que els usuaris d'aquests pàrquings tenen una plaça assignada i realitzen un pagament mensual o anual d'una quota independentment de la utilització que facin de la seva plaça. Aquest règim d'estacionament respon principalment als pàrquings privats. (Nadal, 2008)

Per últim, els pàrquings mixtes són aquells on en la mateixa infraestructura conviuen els dos règims d'estacionament explicats anteriorment per a una millor explotació de la infraestructura i una major obtenció de beneficis. Principalment, els pàrquings mixtos es troben en aquells pàrquings de rotació amb poca ocupació que per a una major rendibilitat han optat per a cedir places en règim de pupil·latge a usuaris fixes. (Nadal, 2008)

2.1.3 Segons la seva distribució

Pel que fa a la distribució, ens podem trobar amb pàrquings subterranis, en elevació i d'esplanada.

Els aparcaments subterranis són els que actualment es construeixen amb més freqüència a les ciutats degut a la falta d'espai. De pàrquings subterranis en podem trobar de públics, privats i en concessió, així com de rotació, pupil·latge o mixtes.

Els aparcaments en elevació es troben més aviat lligats a grans infraestructures de transport com poden ser ports, aeroports o estacions de trens. D'aquesta forma aquests aparcaments acostumen a ser de rotació i la seva titularitat acostuma a ser de titularitat pública però en concessió a una empresa privada.

Els aparcaments d'esplanada tenen com a característica clara que tots els vehicles es troben al mateix nivell i que ocupen una gran superfície pel nombre de places que ofereix, no com les altres dues tipologies on aquest rati és molt més reduït. Aquests pàrquings acostumen

a aparèixer als afores de les grans ciutats o en poblacions més petites on no hi ha problemes d'espai i on el cost del sòl és molt més reduït que a les grans ciutats. Poden anar lligats a grans centres comercials tot i que últimament estan apareixent a les estacions de rodalies properes a les grans ciutats en la fórmula park&ride, propers a grans estadis o recintes esportius, etc. Depenent de la infraestructura a la qual donin servei el seu aparcament pot estar regulat o no.

2.2 El pàrquing de l'aeroport

El pàrquing en un aeroport és una infraestructura que generalment s'havia considerat de forma totalment secundària a l'hora d'estudiar el projecte d'un aeroport, però no és una infraestructura que s'hagi de menystenir, ja que té una gran superfície, una gran quantitat d'usuaris potencials i un alt cost d'oportunitat del sòl ocupat en una zona propera a la terminal (Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, 1995).

A més, actualment és una font molt important d'ingressos ja que s'ha pogut estimar en que els ingressos provinents de l'aparcament poden arribar a suposar un 20% del total d'ingressos de l'aeroport. (de Neufville i Odoni, 2003)

L'aparcament és en moltes ocasions la porta d'entrada i sortida a la terminal, per tant, és important que el tractament que se'n faci sigui el més acurat possible i que el nivell de servei que percebi l'usuari sigui el més elevat possible ja que d'aquesta percepció en pot sortir la percepció global de l'aeroport.

Quan es planteja la construcció d'un aparcament en un aeroport, s'ha de tenir molt present que l'usuari que utilitzarà les instal·lacions no és el mateix que el que utilitza les altres tipologies de pàrquings explicades amb anterioritat, i aquest fet afectarà en el dimensionament de l'aparcament a l'aeroport. Les característiques que els diferencien són les següents: (ACRP 24, 2009)

- Els usuaris estan preocupats pels vols, degut a que es troben en una situació de tensió pensant en la possibilitat de trobar dificultats per aparcar i d'aquesta forma arribar tard al check-in i poder perdre el seu vol.
- Els usuaris utilitzen l'aparcament de forma poc habitual, ja que comparats amb els aparcaments de les cases, oficines, universitats, etc, els usuaris dels aparcaments dels aeroports poques vegades utilitzen les instal·lacions. La gran majoria dels passatgers de les aerolínies no viatgen més de 4 cops l'any.

- Els usuaris aparquen més temps, hi ha molts usuaris que aparquen més d'un dia fins i tot arribant a més d'una setmana, mentre que els altres aparcaments públics poques vegades es superen les estades de més de 8h.
- Els usuaris paguen tarifes més cares, les tarifes als aeroports són més elevades que les que es paguen als pàrquings situats al centre de la ciutat.

Un aparcament s'ha de dimensionar en funció de la demanda potencial que es preveu durant la vida útil de la infraestructura projectada. En el cas dels aparcaments dels aeroports s'ha de tenir present un seguit de factors; el nombre de passatgers que mou aquell aeroport dels quals s'han de descomptar els passatgers de trànsit, els modes de transport disponibles fins a l'aeroport i en quin grau són utilitzats, la tipologia de passatgers, les tarifes del pàrquing i la duració de l'estada a l'aparcament. (Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, 1995)

2.2.1 Distribució de l'aparcament

L'aparcament a l'aeroport es distribueix bàsicament segons la tipologia d'usuaris que ens trobem a l'aparcament i la quantitat d'usuaris que té cada un d'ells.

Els usuaris que es troben a l'aeroport són bàsicament 3: el passatger, el treballador i els subministradors, transportistes de materials i vehicles comercials. D'aquestes tipologies cada una representa aproximadament un 20% del total d'usuaris de l'aeroport, tot i que, aquests percentatges poden variar depenent de la tipologia d'aeroport. (de Neufville i Odoni, 2003) De tots aquests, els que afecten en el dimensionament de l'aparcament són els passatgers i els treballadors.

Tot i que són les dues primeres categories les que influeixen sobre la distribució de l'aparcament, s'estudien per separat ja que tenen comportaments molt diferents com es veurà a continuació.

Els usuaris de l'aparcament relacionats amb els passatgers de l'aeroport poden utilitzar les seves instal·lacions de formes molt diferents; estacionant davant de la terminal però sense aparcar, aparcant fins un màxim d'un dia i aparcant per un temps superior a un dia. (Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, 1995 i de Neufville, 1982)

La resposta per part de l'aeroport a aquests comportaments tan diferenciats es realitza mitjançant 3 espais: l'aparcament davant de terminal per a temps reduïts (*hourly parking*, de

fins a dues hores de durada), l'aparcament de curta estada (*daily parking*, una durada aproximada de fins a dos dies) i l'aparcament de llarga estada (*Long-term parking*, pels aparcaments de més d'una setmana). (de Neufville i Odoni, 2003)

Les dimensions dels conjunt de zones per a aparcar el vehicle als aeroports per donar resposta a la demanda generada pels passatgers està entre 200 i 1200 places per cada milió de passatgers depenent de les tendències dels habitants de la zona i de la seva predisposició a utilitzar el vehicle privat per accedir a l'aeroport. (de Neufville i Odoni, 2003). Altres autors prenen com a valor de referència unes 500 places per cada milió de passatgers. (Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, 1995)

Per altra banda es troben els treballadors, un col·lectiu molt important dins de l'aeroport i amb unes característiques que fan que sigui delicat ja que en moltes ocasions el vehicle privat és la seva única alternativa per accedir al seu lloc de treball. Aquest fet és degut a que els torns de treball comencen abans que el transport públic funcioni i d'altres acabin un cop ja no n'hi ha. (Ison et al., 2007) A més, el dimensionament de l'aparcament de treballadors és diferent ja que els torns de treball es solapen entre entrades i sortides de treballadors i no permeten un reaprofitament total de les places d'un torn amb les del següent torn. (Aldridge et al., 2006)

El nombre de places de l'aparcament de treballadors s'ha pogut estimar en l'interval entre 250 i 500 places per cada 1000 treballadors de l'aeroport. (de Neufville i Odoni, 2003)

Per a solucionar totes les possibles situacions que es poden donar en un aeroport, es poden diferenciar 6 espais diferents destinats a respondre a la necessitat de places d'aparcament. (de Neufville i Odoni, 2003) Els 6 espais amb els que ens podem trobar són:

- Aparcament davant de la terminal amb un estacionament no superior als 3-5 minuts, també anomenat en la bibliografia anglesa *curbside spaces*.
- Aparcament de durada màxima aproximada d'unes dues hores amb gran rotació, també anomenat com hem vist anteriorment *hourly parking*.
- Aparcament de curta estada, *short term parking o structured parking*, on els vehicles estan estacionats més d'un dia, però de mitjana no superen els 2 dies d'estada.
- Aparcament de llarga estada, *long term parking*, destinat als usuaris que de mitjana estacionen més d'una setmana el seu vehicle a l'aparcament.

- L'aparcament de treballadors
- L'aparcament destinat a totes les empreses de lloguer de vehicles que es troben a l'aeroport.

Les places d'aparcament davant de la terminal o *curbside spaces*, són aquells espais que estan situats a poca distància dels accessos a la terminal i que estan destinats als usuaris de l'aeroport que accedeixen a les instal·lacions mitjançant el vehicle privat però que no utilitzen l'aparcament. Aquesta tipologia té una necessitat d'espai de 13 places o 100 metres d'aparcament per cada milió de passatgers anuals. (de Neufville , 1982)

La combinació que se'n pugui fer de totes elles depèn de les característiques de cada aeroport i tal i com s'ha dit anteriorment del nombre d'usuaris de cada tipologia. És molt important tenir molt clar quina és la distribució de cada tipologia d'usuari i quina serà la seva evolució durant la vida útil de l'aparcament, ja que com es pot veure a continuació la demanda de places d'aparcament si tenim 1000 usuaris diaris segons si són d'un tipus o d'un altre canvia molt. (de Neufville i Odoni, 2003)

Taula 1. Relació entre les tipologies d'aparcament, durada de l'estada i places necessàries.

Situació	Estada	Places necessàries
<i>Hourly parking</i>	2 hores aprox.	200 aprox.
<i>Daily parking</i>	2 dies	2000
<i>Long term parking</i>	1 setmana	7000

Font: "Airport Systems: Planning, Design and Management". De Neufville i Odoni, 2003

2.2.2 Necessitats del pàrquing

L'aparcament dels aeroports es troba en una clara situació d'avantatge davant dels altres aparcaments vistos anteriorment, és l'únic que es troba proper a l'aeroport i era fins fa ben poc era la única forma d'aparcament, situació que actualment està canviant.

Tradicionalment, l'accés a l'aeroport s'ha realitzat amb vehicle privat o com es veurà més endavant en transport públic. Sigui quina sigui la situació del pàrquing respecte altres modes de transport o amb altres formes de realitzar l'aparcament, el que ha d'oferir és el màxim nivell de servei des del moment en el que l'usuari s'acosta al pàrquing (accessos) fins que s'allunya de l'aeroport (sortida).

Els accessos del pàrquing han d'estar ben dimensionats de forma que no es produeixin

cues a l'entrada, fet que augmentaria el temps de l'usuari en accedir a l'aeroport, però sense ser excessius i que posteriorment les rampes i passadissos interiors no poguessin absorbir aquest trànsit provocant cues a l'interior del pàrquing. (Nadal, 2008)

Un cop a l'interior del pàrquing, l'usuari ha de percebre amb molta facilitat la quantitat de places disponibles que hi ha i on es troben de forma que pugui triar fàcilment on anar a buscar una plaça i d'aquesta forma reduir el temps de circulació dins del recinte.

Per a facilitar aquesta tasca, s'ha de dotar al pàrquing d'un sistema d'informació des de l'accés a la zona del pàrquing, així l'usuari podrà triar prèviament per quin accés voldrà entrar (si l'aparcament disposa de més d'una entrada) o a l'accés a l'aparcament de forma que l'usuari es dirigeixi directament al sector on sigui més senzill trobar una plaça lliure. (Caicedo, 2005)

Per tenir un bon accés a les places d'aparcament, si el pàrquing és en alçada, l'accés a les diferents plantes haurà de ser directe, independentment de la circulació de la planta i un cop a l'interior de cada planta, s'haurà d'evitar els carrils en cul de sac i que els carrils tinguin l'ample suficient per a una circulació segura tan per al conductor com per als usuaris que es desplacen des del seu vehicle fins a la terminal. (Nadal, 2008)

Un altre dels punts claus que s'han de resoldre és l'accés a la terminal. És una de les claus de l'èxit no només de l'aparcament sinó de l'aeroport en general. Tan si el pàrquing està a prop de la terminal en alçada o subterrani o lluny en esplanada.

Si el cas a estudiar és un pàrquing volumètric, el que l'aparcament ha de proporcionar és un conjunt d'ascensors d'alta capacitat de forma que les esperes a les plantes siguin curtes i un posterior accés a la terminal molt ràpid mitjançant cintes transportadores i molta informació per tal que el passatger no tingui problemes per arribar al taulell del seu vol.

Si el pàrquing a comunicar amb la terminal és d'esplanada i està situat a una certa distància de la terminal, la millor solució és un servei d'autobusos llançadora amb una freqüència suficient de forma que l'espera mitjana d'un passatger no superi els 5 minuts. (MOPTMA, 1995)

Aquest servei ha de cobrir bona part de l'aparcament i així els passatgers no han de caminar grans distàncies fins a la parada. En aquest cas, una bona solució pot ser dotar les llançadores d'algun servei afegit (premsa, aigua, informació pels passatgers de la situació real dels seus vols, etc) de forma que la percepció del temps d'espera i d'arribada a la terminal

disminueixi i el nivell de servei percebut per l'usuari sigui major. (ACRP 24, 2009)

2.2.3 Rivalitat amb el Transport Públic

La viabilitat del pàrquing es resumeix en un dimensionament ajustat a les necessitats de l'aeroport i en tenir una gran capacitat per captar als usuaris per la seva facilitat d'accés i per tenir un sistema tarifari que no suposi un gran esforç als passatgers i als seus familiars.

Seguint aquesta línia, és molt important que els gestors del pàrquing tinguin molt present tant la situació actual del transport públic que dona servei a l'aeroport com les futures actuacions que té previstes l'Administració ja que es pot produir un important canvi de model i transformar el pàrquing en un forat econòmic molt important.

El transport públic és la única alternativa al vehicle privat pel que fa a l'accés a l'aeroport. L'ideal seria tenir una línia d'alta velocitat que unís l'aeroport amb el centre de la ciutat important més propera, un servei de tren de rodalia o xarxes d'autobusos. (de Neufville i Odoni, 2003)

Aquesta solució és la ideal pel que fa a l'arribada de passatgers de fora del territori, però pel que fa a la resposta a la generació de viatges de la ciutat més propera a l'aeroport, el percentatge de passatgers que són d'aquella ciutat està entre el 8 i el 10% dels viatgers. Per aquesta raó, els aparcaments als aeroports per molt bona connectivitat que se li doni a l'aeroport amb la seva àrea d'influència, sempre serà necessari. (de Neufville i Odoni, 2003)

2.2.4 Situació actual

La situació actual pel que fa a l'aparcament dels vehicles dels usuaris de l'aeroport ha donat un gran tomb últimament amb l'aparició d'empreses privades que també han començat a explotar el servei de pàrquing a l'aeroport. Aquestes noves empreses treballen des de zones properes i permeten un aparcament del cotxe més econòmic degut a un inferior preu del sòl i amb serveis de valor afegit (seguretat, neteja del cotxe, etc). A més, realitzen un accés i retorn a la terminal ràpid i porta a porta.

Aquestes empreses són competència directa amb els aparcaments dels aeroports sobretot amb els passatgers que estacionen el seu vehicle un dia o més. Aquesta situació pot portar a problemes econòmics als pàrquings aeroportuaris que hagin realitzat inversions contant amb una important clientela de llarga estada, ja sigui a prop de la terminal o amb una esplanada específica més allunyada i servei de llançadora.

- Accions de l'aeroport per lluitar contra aquesta situació

Per no perdre competitivitat davant aquestes noves empreses, els gestors dels aeroports han de buscar polítiques que els permetin al pàrquing seguir sent el principal punt d'entrada de passatgers a la terminal.

Algunes d'aquestes accions poden ser; servei d'ampolles d'aigua, premsa gratuïta, informació per al viatger de retards al trànsit aeri, descomptes dins de la terminal, facturació de maletes a un preu més reduït, neteja del cotxe, serveis de vigilància del vehicle, facturació preferent de les maletes, etc.(ACRP 24, 2009)

El futur dels pàrquings dels aeroports ja no només passa per un bon dimensionament inicial i una bona política d'inversions, sinó que ara passa per una bona gestió dels recursos i una bona oferta de serveis de valor afegit.

2.3 Problemàtiques en el dimensionament dels aparcaments als aeroports

El comportament dia a dia dels aparcaments dels aeroports com hem vist estan influenciats per elements de característiques molt diferenciades. Tot i això, l'objectiu de la tesina com s'ha dit anteriorment està centrat en el dimensionament dels diferents aparcaments de l'aeroport, per tant, els principals problemes als que s'han de fer front a aquest dimensionament són els següents:

- Coneixement acurat de l'estat actual de l'aeroport pel que fa al seu volum de passatgers i sobretot a la tipologia dels vols que rep.
- Determinació de la taxa de creixement esperada dels vols que capta l'aeroport tan de curt com de llarg recorregut que assumeixi un risc el més reduït possible.
- Estimació correcta dels percentatges de passatgers que utilitzen els diferents modes de transport per accedir a la terminal. En aquest punt influeix tan la tipologia de vol com la situació i connexió de la terminal amb el principal focus de passatgers.
- Estimar de forma encertada els costos de construcció i explotació de les dues tipologies d'aparcament així com del servei de connexió entre l'aparcament de llarga estada i la terminal.

- Estimar a partir de l'estat actual quina és la pauta de comportament dels usuaris als aparcaments, ja que el temps de residència d'aquests als pàrquings determina de forma directa les dimensions dels aparcaments així com la inversió que s'haurà de realitzar en cada cas.
- Obtenir una estimació de la quantitat de passatgers per vehicle que accedeix a l'aparcament ja que el valor amb què ens interessa treballar no és el nombre de passatgers que entren a la terminal, sinó quants vehicles privats ho fan.

De la problemàtica detectada en el dimensionament dels aparcaments als aeroports, dins dels objectius que la tesina que es presenta a continuació es troba el de determinar de forma exhaustiva els costos de construcció i explotació dels aparcaments des del punt de vista del gestor i el coneixement dels costos de connexió des del punt de vista de l'usuari.

Les altres problemàtiques detectades no s'estudien al llarg de la tesina degut a que s'utilitzen com a variables del problema conegudes després d'un estudi de camp que per les dimensions que inclou la tesina s'escapa als objectius de la mateixa.

3. COSTOS DELS APARCAMENTS

Per poder analitzar la viabilitat econòmica d'un projecte s'ha d'analitzar amb molt detall tots els costos que hi influeixen, no només en la seva construcció sinó que també s'ha d'analitzar molt bé tots els costos relacionats amb el manteniment i explotació de la infraestructura.

En aquest apartat es realitzarà una anàlisi exhaustiva de les 3 tipologies de cost que s'haurien de tenir presents a l'hora de prendre les decisions del dimensionament de la infraestructura:

- Els costos de construcció
- Els costos d'explotació
- Els costos de connexió de l'usuari

3.1 Costos de construcció

Un dels costos més importants és el cost de la realització de les infraestructures. Aquest cost és el que transcendeix més quan es parla d'una infraestructura, però tal i com es veurà més endavant, és només la inversió inicial, ja que posteriorment hi ha molts costos de manteniment i explotació que acaben superant als costos d'inversió moltes vegades.

En el cas dels aparcaments dels aeroports, el que influeix en aquest cost és la superfície disponible per a ells, degut a que és la magnitud més restrictiva a l'hora de determinar les dimensions de cada aparcament.

En l'aparcament situat a prop de la terminal, aparcament volumètric, la magnitud que marca directament el preu de la inversió a realitzar és l'alçada de l'edifici ja que com més alt és un edifici més s'ha de reforçar la part inferior i el nombre de plantes a reforçar és més gran. Com més alt és un edifici, més dificultats hi ha en la seva construcció, per tant, més costos executius i les instal·lacions necessàries en tot l'aparcament es complicaran a mida que es van pujant plantes.

El factor que determina el nombre de plantes que necessita un aparcament és la superfície disponible a prop de la terminal per poder construir-lo ja que dels càlculs que es fan per a preveure la demanda futura se n'extreu la superfície total necessària entre totes les

plantes.

Pel que fa a l'aparcament de llarga estada, també influirà molt la quantitat de superfície disponible i de com la disposem. Si la superfície necessària es troba molt lluny, el cost de les connexions viàries fins als accessos i de l'aparcament fins la terminal seran molt elevats.

Un altre opció, seria que la disposició de superfície fos discontinua, fet que obliga a multiplicar instal·lacions i a realitzar connexions entre les diverses instal·lacions per a donar-li un bon accés. Aquesta segona opció, només seria recomanable si és la forma de poder situar l'aparcament de llarga estada bastant més a prop de la terminal i així reduir els costos abans esmentats.

3.2 Costos d'explotació

Els costos d'explotació dels aparcaments es pot dividir en dues vessants ben diferenciades: els costos d'explotació referents a l'edifici i els costos d'explotació del servei de connexió.

3.2.1. Costos d'explotació referents a l'edifici

Per poder estudiar els costos d'explotació dels aparcaments dels aeroports es fixaran primer els elements que hi influeixen de forma significativa, per a posteriorment fer una distinció segons les diferents distribucions d'aparcament.

Els costos es basen principalment en les instal·lacions necessàries per a l'explotació de l'aparcament i en les despeses associades al personal necessari per al correcte funcionament del recinte i totes les instal·lacions.

El conjunt d'instal·lacions als aparcaments seran les següents: Il·luminació, ventilació, seguretat, protecció contra els incendis, aigua i ascensors.

El cost d'explotació d'una instal·lació correspon al consum que es fa d'aquesta i a les reparacions i revisions de seguretat que s'han de realitzar durant l'any per a poder donar un bon nivell de servei a l'usuari. De la llista anterior totes responen a aquest patró de cost menys el de protecció contra incendis. Aquesta instal·lació no té un consum d'utilització i en principi només s'inclouen les revisions a realitzar per a tenir la instal·lació preparada per quan sigui necessari.

Un cop observades les diferents instal·lacions necessàries per a tots els aparcaments, es realitza una distinció de quines afecten a cada una de les dues tipologies d'aparcament que estudiem al llarg de la tesina, el pàrquing volumètric i l'aparcament en superfície.

Si s'estudia primer l'aparcament en superfície, les instal·lacions necessàries per al seu funcionament seran la il·luminació, la seguretat i l'aigua. La resta d'instal·lacions no seran necessàries per les característiques geomètriques d'aquest aparcament.

Pel que fa a l'aparcament volumètric i degut a les característiques geomètriques d'aquest, seran necessàries les mateixes instal·lacions que a l'aparcament superficial però s'hauran d'afegir la ventilació, la protecció contra els incendis i els ascensors.

Si es realitza una primera comparació dels costos d'explotació de les dues tipologies d'aparcament d'entrada es pot dir que els costos de l'aparcament volumètric seran superiors als de l'aparcament superficial si es considera el seu cost total, perquè tal i com es veurà amb més detall més endavant, el cost per plaça acostuma a ser al revés, el més car és el de l'aparcament superficial degut a que el nombre de places acostuma a ser molt inferior.

Aquesta situació es produeix perquè en l'aparcament volumètric apareixen unes instal·lacions que en l'aparcament superficial no són necessàries com s'ha indicat anteriorment. De les 3 esmentades n'hi ha dues que són de gran importància com poden ser el sistema de ventilació i els ascensors.

- **Sistema de ventilació**

En l'aparcament volumètric s'ha de considerar un sistema de ventilació per poder mantenir un ambient respirable dins de l'aparcament i net de tots els fums contaminants dels vehicles. Aquest sistema de ventilació apareixerà sempre que hi hagi alguna planta subterrània i si l'aparcament té únicament plantes en alçada dependrà de com es facin els tancaments exteriors del pàrquing. Si l'aparcament és totalment obert pels laterals el sistema de ventilació, serà només necessari per a provocar una millor renovació de l'aire, però no serà tan complicat com si estigués tancat pels laterals.

- **Ascensors**

Pel que fa als ascensors, s'hauran d'instal·lar tants ascensors com siguin necessaris depenent de la quantitat de places que tingui l'aparcament. Aquesta instal·lació, apart de suposar una inversió inicial molt important, tindrà un gran consum durant la seva explotació. Aquest gran consum es produirà perquè són de gran importància en un aeroport degut a la

presència de molts usuaris molt carregats amb equipatge. Els ascensors que s'han d'instal·lar a l'aparcament hauran de ser de gran capacitat.

Per altra banda, si s'analitzen les altres instal·lacions presents a les dues tipologies d'aparcament, la il·luminació, el sistema de seguretat i l'aigua, a continuació es pot veure amb certa facilitat que els costos d'explotació de l'aparcament volumètric seran superiors als de l'aparcament superficial.

- **Il·luminació**

A l'aparcament volumètric totes les plantes a excepció de l'última ha de tenir la il·luminació encesa durant tot el dia, de forma que el consum és bastant elevat i pel fet de tenir-la en funcionament durant tot el dia, s'hauran de realitzar moltes més revisions del sistema així com les reparacions necessàries. Per altra banda, a l'aparcament en superfície, durant gran part del dia no caldrà utilitzar la il·luminació ja que l'aparcament està situat a l'exterior i amb la claror de dia ja serà suficient. I com a conseqüència d'una utilització més limitada, les revisions i reparacions es reduiran considerablement. D'aquesta forma es pot afirmar que els costos d'explotació de la il·luminació en un aparcament volumètric seran superiors als de l'aparcament en superfície.

- **Sistema de seguretat**

El sistema de seguretat als aparcaments està basat en la instal·lació d'un conjunt de càmeres de vigilància que permeten veure en tot moment el que passa als aparcaments de forma que els vehicles que estan estacionats estan controlats davant de qualsevol acte vandàlic que s'hi pugui produir. A part d'això, el sistema de càmeres permet concretar exactament quin és l'abast de qualsevol emergència que es produeixi a l'aparcament i on s'ha d'actuar. I ja per últim, és l'element que augmenta el nivell de servei percebut per part de l'usuari, ja que el passatger es troba més protegit davant de qualsevol agressió que pugui patir.

Si s'analitza com és aquest sistema de seguretat tan a l'aparcament volumètric com a l'aparcament en superfície es pot veure que a l'aparcament volumètric el sistema de càmeres ha de ser molt més extens ja que s'ha d'instal·lar a cada planta i complex degut a les característiques d'un aparcament amb rampes i columnes que fan que es produeixin molts espais sense cobertura. Per tant, es pot concloure que en principi els costos d'explotació del sistema de seguretat seran superiors en l'aparcament volumètric.

- Aigua

El consum d'aigua depèn directament del nombre de lavabos que es col·loquin a cada aparcament ja que el consum pel funcionament de la instal·lació i el degut a les revisions i reparacions serà el mateix per unitat de lavabo. Per tant, en aquesta instal·lació no es pot dir a priori quin dels dos tipus d'aparcaments tindrà un cost d'explotació superior.

Per a realitzar el càlcul dels costos d'explotació de les diverses instal·lacions analitzades amb anterioritat es busca trobar un valor unitari representatiu de cada instal·lació per a poder multiplicar-lo posteriorment pel valor corresponent a cada aparcament.

A partir d'una primera aproximació es pot veure que el valor unitari de la il·luminació, el sistema de ventilació i l'aigua es pot reduir (€/plaça·any). D'aquesta forma per obtenir els costos de les instal·lacions, només es necessari multiplicar-los pel nombre de places que hi ha de cada tipologia d'aparcament.

$$C_I = I_p \cdot N \quad (1)$$

$$C_V = V_p \cdot N \quad (2)$$

$$C_A = A_p \cdot N \quad (3)$$

On;

I_p és el cost unitari de la il·luminació (€/plaça·any)

V_p és el cost unitari de la ventilació (€/plaça·any)

A_p és el cost unitari de l'aigua (€/plaça·any)

N és el nombre de places de l'aparcament

Els costos d'explotació de l'ascensor en canvi es poden reduir a un cost unitari per ascensor. Aquest cost unitari depèn del nombre de places per planta de l'aparcament i del nombre de plantes. Per tant, és un valor que depèn de la superfície i de l'alçada del pàrquing.

$$C_a = a_u \cdot n \quad (4)$$

On;

a_u és el cost unitari de l'explotació i manteniment d'un ascensor de gran capacitat

n és el nombre d'ascensors de l'aparcament

El cost del sistema de seguretat es pot reduir al cost d'exploració per càmera per a posteriorment multiplicar-la pel nombre de càmeres que hi ha a cada aparcament. En aquest cas, el nombre de càmeres depèn de les característiques geomètriques de l'aparcament, per tant depèn de la superfície ocupada per l'aparcament.

$$C_c = C_u \cdot n \quad (5)$$

On;

C_u és el cost unitari de l'exploració i manteniment del sistema de vigilància per càmera

n és el nombre de càmeres del pàrquing

A la instal·lació de protecció contra incendis només es tindrà present el valor de les revisions i la quantitat de revisions que s'han de realitzar al llarg de l'any. El valor del cost del sistema de protecció contra incendis està relacionat amb la superfície ocupada per planta.

$$C_i = i_u \cdot n \quad (6)$$

On;

i_u és el cost unitari del manteniment del sistema protecció contra els incendis

n és el nombre de revisions a l'any necessàries

Per últim, els costos del personal són directament el sou de cada treballador pel nombre de treballadors que hi ha a cada aparcament.

$$C_p = S_p \cdot n \quad (7)$$

On;

S_p és el valor del sou dels treballadors de l'aparcament

n és el nombre de treballadors

D'aquesta forma es conclou que els costos d'exploració seran una suma de tots aquests costos considerats anteriorment. Per poder calcular els costos de forma clara es planteja la següent equació:

$$Q = C_I + C_V + C_A + C_a + C_c + C_i + C_p \quad (8)$$

Tal i com es pot veure a les fórmules detallades, els diferents costos depenen de

diferents elements; el nombre de places que té l'aparcament, la superfície ocupada per cada planta del pàrquing, l'alçada de l'aparcament i per últim del nombre de treballadors.

D'aquesta forma es pot replantejar la fórmula dels costos de la següent forma:

$$Q = \alpha \cdot N + \beta \cdot S + \gamma \cdot h + \delta \quad (9)$$

On;

N és el nombre de places de l'aparcament

S és la superfície en planta ocupada pel pàrquing

h és l'alçada de l'aparcament

Si ara s'incideix en les característiques generals de cada tipologia d'aparcament estudiat les dues fórmules són les següents:

$$Q_1 = \alpha_1 \cdot N_1 + \beta_1 \cdot S_1 + \gamma_1 \cdot h + \delta_1 \quad (10)$$

$$Q_2 = \alpha_2 \cdot N_2 + \beta_2 \cdot S_2 + \gamma_2 \cdot h + \delta_2 \quad (11)$$

On de forma general Q_1 és major a Q_2 com ja s'havia estudiat anteriorment. Un dels elements que ajuda a treure aquesta conclusió és que el terme que està relacionat amb l'alçada a l'aparcament superficial no influeix.

3.2.2 Costos d'explotació associats a la connexió

Els costos del servei de connexió entre l'aparcament de llarga estada i la terminal des del punt de vista de l'operador són directament els costos dels diferents elements que intervenen en la realització del servei.

Aquests costos, els anomenats costos d'explotació, es poden classificar en dues grans tipologies segons la variable que els caracteritza:

- Costos associats al quilometratge (C_k)
- Costos associats a la freqüència del servei o al nombre d'autobusos (C_h)

A continuació es detalla el càlcul d'aquests costos per a poder realitzar un estudi més concret dels costos de connexió.

- **Costos associats al quilometratge**

Els costos associats al quilometratge estan formats pels elements que permeten circular als vehicles. Aquests són; el combustible, el lubricant, els pneumàtics i el manteniment i reparacions.

○ Cost del combustible

El cost del combustible es calcula de forma senzilla a partir de les dades del consum de combustible dels vehicles (f_c), els quilòmetres anuals recorreguts per la totalitat dels autobusos (L_{anual}) i el preu del combustible (P_c).

En aquest cas, s'ha d'anar amb cura amb el valor del preu del combustible, degut a que és un element amb un preu que oscil·la contínuament i amb variacions que poden ser considerables.

El cost del combustible per al servei de *shuttle* és el següent:

$$C_c = f_c \cdot L_{anual} \cdot P_c \quad (12)$$

○ Cost del lubricant

El càlcul del cost del lubricant es realitza a partir del cost del combustible. Es realitza segons les indicacions del MOPU (1990) que marca que la quantitat de lubricant a utilitzar és un 0.8% del consum de combustible en el cas dels autobusos. A partir d'aquesta dada i de la relació entre els preus del lubricant (P_l) i combustible es pot trobar fàcilment el cost.

$$C_l = \frac{0.8}{100} \cdot C_c \cdot \frac{P_l}{P_c} \quad (13)$$

○ Cost dels pneumàtics

El cost dels pneumàtics es calcula a partir del càlcul de quants canvis de pneumàtics s'han de realitzar a l'any i en funció de quants pneumàtics (n_{pn}) necessiten els vehicles que operen el servei de *shuttle*. Aquest valor es pot obtenir ja que es pot conèixer la vida útil esperada d'aquests pneumàtics ($V_{u,pn}$). El nombre de canvis es realitza en funció de la longitud recorreguda per tots els vehicles del servei ja que no es coneix quants quilòmetres recorrerà cada vehicle i per tant, no es pot saber quants canvis de pneumàtics es faran a cada autobús. A partir d'aquesta relació, del nombre de pneumàtics utilitzats per vehicle i del preu de cada pneumàtic (P_{pn}) s'obté el cost dels pneumàtics per a l'operador.

$$C_{pn} = \frac{L_{anual}}{V_{u,pn}} \cdot n_{pn} \cdot P_{pn} \quad (14)$$

- Cost del manteniment i reparacions

A partir de les dades de les reparacions i revisions de manteniment realitzades durant tot un any en un autobús es pot conèixer el cost per quilòmetres d'aquestes accions. A partir d'aquest valor i multiplicat pel quilometratge de tot el servei s'obté el cost del manteniment i reparacions de l'operador.

$$C_{mr} = L_{anual} \cdot P_{mr} \quad (15)$$

Un cop acabada la caracterització de cada cost, es pot expressar el total dels costos associats al quilometratge de la següent forma:

$$C_k = C_c + C_l + C_{pn} + C_{mr} \quad (16)$$

- Costos associats a la freqüència del servei o al nombre d'autobusos

En aquest apartat es fa referència a tots els costos que estan relacionats amb la possessió dels vehicles necessaris per a realitzar el servei amb la qualitat desitjada i al fet de poder moure'ls. En aquesta categoria entren els costos d'adquisició dels vehicles anual, cost de les assegurances, el cost dels impostos i el cost del personal.

Aquests costos varien molt segons la tipologia d'aeroport, ja que els aeroports internacionals principals no paren en tot el dia, mentre que aeroports no de primer nivell sí que aturen el seu funcionament durant unes hores.

La caracterització dels diferents costos es fa per vehicle i any (€/veh·any)) per a posteriorment multiplicar-los pel nombre de vehicles necessaris per a cobrir el servei. El procediment que s'ha seguit és aquest ja que la determinació del nombre de vehicles per al servei mereix un estudi per separat.

- Cost d'adquisició dels vehicles

El cost de la compra dels autobusos (c_b) no es comptabilitza de forma puntual, sinó que es reparteix el cost de la inversió pels anys de vida útil del vehicle ($V_{u,b}$). Els costos per vehicle adquirit són:

$$C_b = \frac{c_b}{V_{u,b}} \quad (17)$$

- Cost de les assegurances i impostos

El cost de les assegurances i dels impostos són les despeses que s'han de realitzar anualment per a poder tenir el dret a circular i oferir el servei desitjat amb els autobusos. Aquests costos són per vehicle.

$$C_{a,i} = c_a + c_i \quad (18)$$

- Cost del personal

El cost del personal depèn directament del salari (s_{cond}) i la quantitat de conductors ($n_{cond}/_{bus}$) que condueixen cada vehicle al llarg d'una jornada, ja que els treballadors tenen jornades més curtes de les que fan els vehicles.

D'aquesta forma, el cost del personal és el següent:

$$C_{pe} = s_{cond} \cdot n_{cond}/_{bus} \quad (19)$$

Per a poder comptabilitzar aquests costos amb els explicats anteriorment i així poder obtenir els costos totals d'explotació del servei, s'han de sumar els tres costos detallats i multiplicar-los pel nombre de vehicles del servei com ja s'ha dit anteriorment.

$$C_h = C_b + C_{a,i} + C_{pe} \quad (20)$$

El nombre de vehicles depèn de la freqüència i de la longitud de trajecte a recórrer per cada vehicle. Apart d'aquests dos elements es considera un estoc de seguretat d'autobusos per a poder mantenir el nivell de servei si es produeix una avaria o un vehicle es troba realitzant una revisió.

La determinació del nombre de vehicles s'ha realitzat a partir de la següent fórmula:

$$[n]^+ = \frac{T_c}{interval} + (2 \text{ ó } 3) \quad (21)$$

$$T_c = \frac{2 \cdot L}{v} \quad (22)$$

On v és la velocitat, T_c és el temps de cicle de cada autobús i L és la distància entre l'aparcament de llarg termini i la terminal. L'estoc de seguretat es pren de 2 ó 3 ja que en el moment en que un vehicle es trobi en reparació o en revisió de manteniment es pot produir una avaria en el servei i es necessita un altre vehicle per a mantenir la qualitat.

L'interval marca el nivell de servei que es vol donar als usuaris en la connexió amb la terminal. Aquest interval, tal i com s'ha dit anteriorment, en serveis d'aquestes

característiques no ha de superar els 8-10 min. Per a la tesina s'ha considerat que l'interval de pas es manté constant al llarg de tota la jornada laboral, tot i que segur que pateix modificacions al llarg del dia per a adaptar-se als pics i valls de demanda. El valor considerat es considera que és el terme mig entre les dues opcions.

Com més baix sigui l'interval, més alta la freqüència i de la fórmula anterior es pot deduir que es necessitaran més autobusos i per tant els costos augmentaran. Tot i això, són uns costos que poden ser necessaris, perquè per poder captar usuaris de l'aparcament interessa tenir un bon nivell de servei.

D'aquesta forma s'arriba a l'expressió final dels costos del servei de connexió:

$$C_s = C_k + C_h \cdot [n]^+ \quad (23)$$

3.3 Costos de connexió de l'usuari

Els costos de connexió de l'usuari amb la terminal aeroportuària no són monetaris per al gestor de la infraestructura, per tant, si es fa una anàlisi econòmica pura no influeixen en les decisions finals de dissenys dels aparcaments.

Per altra banda, per poder donar un bon servei i que la distribució d'aparcaments final no esdevingui un fracàs per falta de lògica s'hauria de tenir present aquests costos que es generen a l'usuari, apart dels directes a partir de la tarifa, ja que si aquests costos que l'usuari assumeix són baixos, voldrà dir que el dimensionament de l'aparcament tan el de curt termini com el de llarg termini són atractius per a l'usuari.

En aquests apartat es farà en detall només l'anàlisi dels costos que té l'usuari en l'accés de l'aparcament en superfície fins a la terminal, ja que un cop definits aquests, serà senzill analitzar els de l'aparcament volumètric.

Els aparcaments de superfície, com s'ha dit anteriorment, estan situats a una certa distància de la terminal de l'aeroport. Aquesta distància es recorre amb un servei d'autobusos (*shuttle*) a disposició dels usuaris que els deixa a l'entrada de la terminal per a poder accedir de la forma més ràpida a l'interior de l'aeroport.

Des del punt de vista de l'usuari, la realització de tot aquest procés comporta un temps que s'ha de comptabilitzar i monetitzar per a poder incloure'l en els costos totals de la infraestructura i així poder trobar la situació òptima de l'aparcament de superfície.

Els costos de connexió entre l'aparcament de llarga estada i la terminal es poden dividir en els següents costos:

- Cost d'accés al servei (C_a)
- Cost d'espera (C_e)
- Cost de trajecte (C_t)
- Cost d'accés al destí (C_d)

Els costos totals per a l'usuari així com del servei diàriament, seran la suma de tots els valors que s'han calculat de forma separada a continuació.

3.3.1 Cost d'accés al servei

El cost d'accés al servei fa referència a la monetització del temps que necessita l'usuari per accedir des de la seva plaça d'aparcament fins al servei de *shuttle*. L'accés fins al servei es farà a través de la parada de l'autobús més propera.

El factor més important en aquest cas és la distància recorreguda a peu per l'usuari fins a la parada més propera a la seva plaça d'aparcament. Com que cada plaça té una distància diferent fins a la parada d'autobús, per als costos, la distància a utilitzar és la distància d'accés mitjana. Per al càlcul d'aquesta distància s'han de realitzar unes consideracions prèvies.

- El moviment dels usuaris dins de l'aparcament es considera que es realitza per les indicacions de camí per a vianants pintada al terra de l'aparcament que segueix rutes en els eixos horitzontal i vertical. Aquest camí dirigirà des de cada plaça d'aparcament fins a la parada més propera de forma que no hi haurà cap usuari que realitzi un desplaçament no desitjat.
- Les parades (P_i) del servei de connexió estan equiespaiades durant el recorregut de la línia dins de l'aparcament de llarga estada.
- Cadascuna de les parades, tindrà una àrea d'influència igual a les altres i amb valor

$$A_i = \frac{L_1}{2} \cdot \frac{L_2}{2} = b \cdot d \quad (24)$$

Es prendrà $d = L_1/2$ i $b = L_2/2$ per a simplificar l'operativitat en el càlcul de la distància entre una plaça d'aparcament i la parada d'autobús on L_1 i L_2 són la longitud i l'amplada de l'aparcament de llarga estada.

S'ha consultat la bibliografia de Peyronnel (2005) i el càlcul de la distància d'accés mitjana al servei és la següent:

$$d_a = \int_{-b/2}^{b/2} \int_{-d/2}^{d/2} \frac{(|x|+|y|)}{bd} dx dy = \frac{4}{bd} \int_0^{b/2} \int_0^{d/2} (x+y) dx dy = \frac{4}{bd} \int_0^{b/2} \left[\frac{x^2}{2} + xy \right]_0^{d/2} dy = \frac{4}{bd} \int_0^{b/2} \left[\frac{d^2}{8} + \frac{dy}{2} \right] dy = \frac{4}{bd} \left[\frac{d^2}{8} y + \frac{dy^2}{2} \right]_0^{b/2} = \frac{4}{bd} \left[\frac{d^2 b}{16} + \frac{db^2}{16} \right] = \frac{d+b}{4} \quad (25)$$

Si ara es desfà el canvi de notació realitzat per a poder facilitar els càlculs el resultat final serà el següent:

$$d_a = \frac{d+b}{4} = \frac{L_1+L_2}{8} \quad (26)$$

Un cop obtinguda aquesta distància mitjana d'accés des de qualsevol plaça d'aparcament a la parada del servei més propera es pot calcular fàcilment el temps d'accés (t_a) a partir de la velocitat dels vianants.

A partir de la bibliografia consultada s'ha trobat com a possibles valors, 3 o 4 km/h. D'aquests 2 valors s'ha considerat com a valor de càlcul la velocitat de 3km/h. Aquest valor s'ha pres degut a que s'està considerant l'aparcament de llarga estada i per tant, els usuaris és molt probable que vagin carregats amb maletes.

$$t_a = \frac{d_a}{v} \quad (27)$$

El t_a obtingut és el temps real de trajecte que ha realitzat l'usuari per a accedir a l'autobús, però per a conèixer els costos d'aquest temps, el temps que s'ha d'utilitzar no és aquest, és el temps percebut per l'usuari ($t_{p,a}$). Per a trobar aquest temps percebut es pren un valor γ obtingut de l'estudi TCQSM (*Transit Capacity and Quality of Service Manual*) segons la situació en la que es troba l'usuari. En el cas de l'accés al servei el seu valor és $\gamma_a = 2.2$. Per tant,

$$t_{p,a} = 2.2 \cdot t_a \quad (28)$$

Un cop obtingut el temps percebut per l'usuari ja es pot calcular el cost que té per a l'usuari a partir del valor del temps. Si s'afegeix el valor de la demanda diària del servei, el que s'obté és el cost d'accés a la infraestructura dels usuaris per dia.

$$c_a = VdT \cdot t_{p,a} \quad (29)$$

$$C_a = VdT \cdot t_{p,a} \cdot D \quad (30)$$

El valor del temps (VdT) es pren amb el valor de 6.7 €/h obtingut de F.Robusté (2000, Apunts de Transports II) i a partir de les dades de la inflació proporcionades per IINE es pot calcular el VdT actualitzat. El valor del temps actualitzat a l'any 2012 és VdT = 10.13 €/h.

3.3.2 Cost d'espera

El cost d'espera fa referència al cost del temps que s'espera a la parada l'arribada del proper autobús. Aquest temps d'espera depèn de l'interval de pas entre els autobusos (h) i del factor de temps d'espera percebut ($\gamma_{p,w}$).

El temps d'espera real (t_w) es calcula a partir de l'interval de pas entre autobusos. Es pren com a l'esperança del temps que haurà d'esperar cada usuari fins que arribi el proper autobús. Aquest valor és la meitat de l'interval de pas, obtingut dels Apunts de l'assignatura de Transports II.

$$t_w = \frac{h}{2} \quad (31)$$

L'interval de pas d'una línia d'autobusos d'aquestes característiques ha de ser com a màxim de $h = 8$ a 10 min.

En aquest cas, el valor del factor multiplicador del temps d'espera és més elevat, perquè la percepció del temps quan un usuari espera de forma passiva és molt més elevada que quan es troba caminant o realitzant alguna altra acció. En els aeroports la situació pot ser especialment sensible si els usuaris estan pendents del temps que tenen per a accedir amb tranquil·litat al seu vol. El valor d'aquest factor per a aquesta situació és $\gamma_w = 2.6$ (TCQSM).

Per tant, seguint la mateixa formulació que s'ha utilitzat anteriorment, el cost d'espera de l'usuari i de tot el servei diàriament són els següents:

$$c_w = \gamma_w \cdot t_w \cdot VdT \quad (32)$$

$$C_w = \gamma_w \cdot t_w \cdot VdT \cdot D \quad (33)$$

3.3.3 Cost de trajecte

El cost del trajecte d'un servei d'autobusos urbans és complicat de calcular degut als molts elements que hi influeixen; el temps de recorregut, el temps a les parades i el temps a les interseccions semaforitzades. La combinació d'aquests tres elements acaben donant la velocitat comercial del servei, element principal en el càlcul del cost del trajecte.

En el cas del servei de *shuttle* en una terminal d'aeroport, aquesta velocitat comercial no es coneix a priori, però el que sí que es coneix és que el valor del cost del trajecte només dependrà del temps de recorregut i del temps a les parades.

Per al càlcul del temps de recorregut es fan un seguit de consideracions per a poder aplicar els models estudiats durant la carrera.

- El recorregut de l'autobús s'ha de considerar en dues etapes per separat, la que es troba a l'interior de l'aparcament i l'exterior, degut a que a la part de connexió entre l'aparcament i la terminal no hi ha cap parada, mentre que a la part interior sí.
- La línia estudiada és circular, comença i acaba a la terminal, per tant, hi ha trams on coincideixen passatgers que van i que tornen de la terminal a l'aparcament.
- La demanda es considera uniformement distribuïda al llarg del pàrquing.

A l'esquema següent es mostra com està distribuït el trajecte i a partir d'aquí es podrà calcular amb més facilitat la longitud de trajecte realitzada per cada usuari.

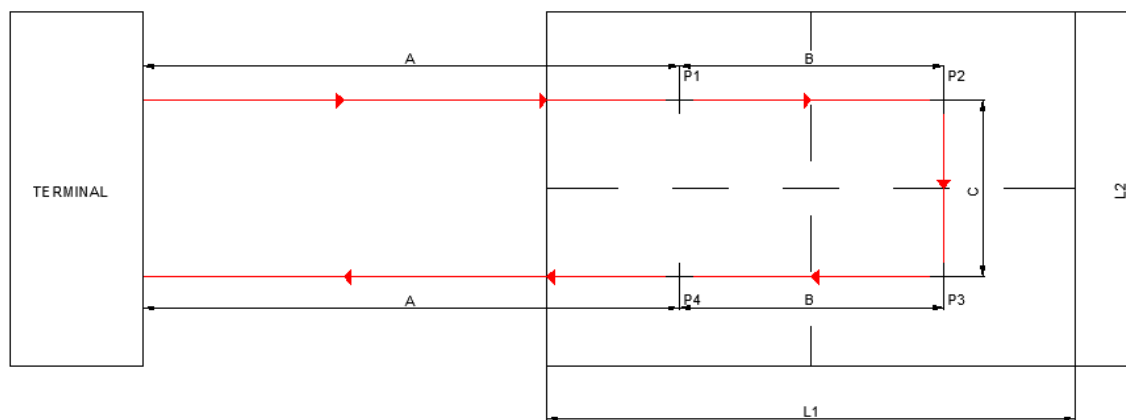


Figura 1. Esquema del recorregut de la línia de *shuttle* entre la terminal i l'aparcament de llarg termini

La majoria de serveis de connexió entre els aparcaments de llarga estada i les terminals d'aeroport es realitzen mitjançant línies d'autobusos que no entren mai a l'aparcament i que només tenen una parada a cada extrem de la línia. En el cas que s'està plantejant a la tesina, s'ha realitzat una formulació molt més general per a poder adaptar-se sense problemes a qualsevol aparcament de llarga estada per gran que sigui.

En una línia d'autobús on la línia té una longitud L , la demanda de cada parada està uniformement distribuïda i la probabilitat de baixar a cada parada és la mateixa, la longitud esperada de recorregut de cada passatger es pot estimar com a $L/3$.

En el cas del servei de *shuttle* s'ha estudiat per separat els dos sentits de la ruta.

○ Sentit Terminal - Pàrquing

En aquest cas, els criteris exposats anteriorment són correctes, ja que la probabilitat d'haver deixat el cotxe proper a una parada és la mateixa per a cada parada. Tot i que la longitud a utilitzar farà referència només a la part entre parades de l'aparcament de llarga estada.

$$L = (2 \cdot B) + C \quad (34)$$

A aquesta longitud, s'hi ha d'afegir la longitud recorreguda entre la terminal i l'aparcament, ja que aquest tram el farà segur, vagi en la direcció en la que vagi. D'aquesta forma, la longitud esperada que recorrerà un passatger en la línia de shuttle serà:

$$L' = \frac{(2 \cdot B) + C}{3} + A \quad (35)$$

○ Sentit Pàrquing – Terminal

En l'estudi d'aquest segon tram s'ha considerat que la probabilitat de que un passatger pugi a l'autobús en una parada o en una altra serà la mateixa, per tant, també es pren com a valor esperat de la longitud recorreguda dins de l'aparcament:

$$L = \frac{(2 \cdot B) + C}{3} \quad (36)$$

D'aquesta forma es conclou, que la longitud esperada serà la mateixa en els dos casos, ja que en un sentit el tram fora de l'aparcament es fa al principi i en l'altre es realitza al final.

Un cop obtinguda la longitud de recorregut, per a obtenir el temps de recorregut s'ha determinat la velocitat de recorregut per a cada tram. Per al tram de connexió entre l'aparcament i la terminal, s'ha considerat $v_1 = 50-60$ km/h ja que tot el recorregut es realitza per les vies d'accés a l'aeroport, mentre que per al tram situat a l'interior de l'aparcament, la velocitat considerada és de $v_2 = 30$ km/h.

D'aquesta forma ja es pot considerar el temps de recorregut de l'autobús:

$$t_r = \frac{A}{v_1} + \frac{\frac{(2 \cdot B) + C}{3}}{v_2} \quad (37)$$

Per a poder finalitzar el càlcul del temps de trajecte es calcula el temps a les parades. Aquest temps consta del temps necessari per a obrir i tancar les portes i el temps de pujar i

baixar els passatgers. Els passatgers del servei d'autobús tal i com s'ha dit amb anterioritat porten maletes, fet que augmentarà el temps tan de pujada com de baixada del vehicle.

Segons diversos estudis, el temps per obrir i tancar les portes de l'autobús ($t_{o,t}$) és de 2 segons en cada cas, per tant, en 4" es realitza l'obertura i tancament de portes.

Pel que fa al temps de pujada i baixada dels passatgers, diversos estudis realitzats al transport públic de Barcelona aporten els valors d'aquests temps depenent de les característiques del servei i de la parada.

En el cas que la parada i el vehicle no es trobin al mateix nivell, el temps de pujada (t_p) és de 3.2 s/pax, i el temps de baixada (t_b) és de 2.5 s/pax. En canvi, si l'accés és al mateix nivell, com succeeix al tramvia, els temps es redueixen fins a 2.5 s/pax per a pujar i 1.6 s/pax per a baixar.

Totes aquestes dades són amb passatgers que possiblement vagin carregats, però no es considera el fet d'anar amb maletes com a variable d'estudi significativa.

Es considera que el servei de shuttle en ser un servei de nova construcció amb l'aparcament, tindrà la parada a la mateixa alçada del vehicle per a poder reduir temps a la parada, i per tant, es fa una estimació de que els temps de pujar i baixar de l'autobús puguin ser els mateixos que els de pujar i baixar si la parada no està situada al mateix nivell.

Per tant, $t_p = 3.2$ s/pax i $t_b = 2.5$ s/pax.

El temps total en una parada en un servei d'autobusos es calcula a partir del temps d'obrir i tancar portes i del màxim temps entre pujar i baixar passatgers, ja que serà el que marcarà quan temps s'està l'autobús a la parada. Es considera que la pujada de passatgers es realitza mitjançant una sola porta, mentre que la baixada de passatger es realitza per les altres portes de l'autobús.

$$t_p = t_{o,t} + \max\left(t_p \cdot p_p, \frac{t_b \cdot p_b}{n-1}\right) \quad (38)$$

On;

p_p és el nombre de passatgers que pugen a l'autobús

p_b és el nombre de passatgers que baixen de l'autobús

n és el nombre de portes de l'autobús

El temps final del trajecte serà la suma entre el temps de recorregut i el temps a les parades:

$$t_t = \frac{A}{v_1} + \frac{\frac{(2 \cdot B) + C}{3}}{v_2} + t_{o,t} + \max(t_p \cdot p_p, \frac{t_b \cdot p_b}{n-1}) \quad (39)$$

Pel que fa al trajecte, la relació entre el temps percebut i el temps real és de $\gamma_t = 1$, ja que el temps de trajecte no es percep de forma negativa per part del passatger. Per tant, el temps percebut i el temps real és el mateix.

$$t_{p,t} = \gamma_t \cdot t_t = t_t \quad (40)$$

D'aquesta forma es conclou que el cost del trajecte per un usuari i de tot el servei diàriament és:

$$c_t = VdT \cdot t_{p,t} \quad (41)$$

$$C_t = VdT \cdot t_{p,t} \cdot D \quad (42)$$

3.3.4 Cost de destí

Els costos de destí en una línia d'autobusos urbana s'han de calcular de la mateixa forma que s'ha realitzat l'apartat de costos d'accés, degut a que cada passatger és diferent, però en el cas del servei d'accés a la terminal no serà de la mateixa forma, perquè es coneix la distància entre la parada del servei i la terminal (d_d).

La distància que s'ha pres ha estat la distància entre la parada del servei de shuttle i la porta més propera als taulells per facturar. En aquest cas, la velocitat del vianant també s'ha pres de 3 km/h degut a que va carregat amb equipatge i el factor de temps percebut és el mateix que s'ha utilitzat per a l'accés al servei $\gamma=2.2$.

Per tant, els valors del temps en destí i el temps percebut pel passatger seran els següents:

$$t_d = \frac{d_d}{v} \quad (43)$$

$$t_{p,d} = 2.2 \cdot t_p \quad (44)$$

I els costos per a cada usuari i pel servei d'autobús llançadora diàriament seran:

$$c_d = VdT \cdot t_{p,d} \quad (45)$$

$$C_d = VdT \cdot t_{p,d} \cdot D \quad (46)$$

Un cop acabat l'anàlisi dels costos dels usuaris de l'accés a la terminal des de l'aparcament de superfície, es pot dir que el de l'aparcament volumètric tindrà només dos punts

- Cost de l'aparcament
- Cost d'accés al destí

3.3.5 Cost de l'aparcament

El cost de trobar aparcament es troba a partir del temps que es triga en arribar a la plaça d'aparcament multiplicat pel valor del temps. El més complicat en aquest punt és determinar el temps d'accés fins a la plaça d'aparcament ja que està influenciat per molts elements: barreres d'entrada, temps de circulació interna i temps de busca de plaça d'aparcament.

- Barreres d'entrada

El correcte dimensionament de les barreres d'entrada és molt important ja que és la porta d'entrada al recinte i ha de permetre un ràpid accés per a no crear cues a l'entrada, però molt més important, donar l'accés just perquè no es creïn cues a l'interior.

Si es creen cues a l'interior el nivell de servei percebut per l'usuari serà molt baix ja que li costarà molt arribar a trobar aparcament i accedir a la terminal en una situació moltes vegades de tensió per la falta de temps per arribar a l'avió.

En aquest cas tenim un temps que passa des que arribem als terrenys propietat de l'aeroport fins que passem les barreres i entrem dins del pàrquing. Aquest temps inclou la circulació per l'interior del recinte aeroportuari fins arribar a l'entrada de l'aparcament ($t_{cir,ext}$) i el temps que triguem en obtenir el tiquet del pàrquing (t_{tiq}).

Per tant, el temps en arribar a l'interior de l'aparcament és el següent:

$$t_{barr} = t_{circ,ext} + t_{tiq} \quad (47)$$

A partir d'aquest temps podem deduir el cost de cada usuari i el cost diari de l'accés a l'interior de l'aparcament:

$$c_{barr} = VdT \cdot t_{barr} \quad (48)$$

$$C_{barr} = VdT \cdot t_{barr} \cdot D \quad (49)$$

- Temps de circulació interna

El temps de circulació interna és un temps que és variable i que depèn de l'ocupació de places en aquell moment, de la rotació de l'aparcament i de l'habilitat del conductor.

Segons el grau d'ocupació de l'aparcament el vehicle que accedeix haurà d'accedir a plantes superiors, per tant, el temps d'accés fins la planta serà més elevat que si es queda a les primeres. Tot i això, un cop a la planta el temps de trobar aparcament serà diferent en cada cas com es veurà més endavant.

El grau de rotació de l'aparcament també és molt important, perquè si en aquell moment ens trobem amb molts vehicles entrant i sortint de l'aparcament farà que la velocitat d'accés a les diferents plantes sigui diferent.

Per últim, està el factor humà de l'habilitat en la conducció en aparcaments d'aquestes característiques i si el conductor és habitual o no en aquest en particular.

Amb tots aquests factors expressats anteriorment es considera un temps promig de circulació interna ($t_{circ,int}$) i d'aquesta forma es podrà determinar un cost per a cada usuari com el cost diari del sistema:

$$c_{circ,int} = VdT \cdot t_{circ,int} \quad (50)$$

$$C_{circ,int} = VdT \cdot t_{circ,int} \cdot D \quad (51)$$

- Temps de busca de plaça d'aparcament

El temps que es triga a trobar una plaça d'aparcament igual que el temps anterior, depèn directament de l'ocupació de la planta a la que s'ha accedit i de la rotació de l'aparcament en el moment d'accés al pàrquing.

La dependència de l'ocupació de la planta en què s'està circulant és clara, ja que com és plena està la planta més difícil és trobar una plaça lliure i a més, la velocitat de circulació es redueix de forma inconscient per a poder estar més atent a qualsevol plaça lliure o vehicle que es disposi a abandonar el seu lloc

Pel que fa a la rotació, influeix de forma molt important de dues formes diferents, per un costat, si accedim a la planta darrere d'un altre vehicle, aquest trobarà plaça abans i llavors no estem buscant la primera que aparegui, sinó la segona. Per altra banda, aquesta rotació

també influirà en la velocitat de circulació ja que si un usuari troba altres vehicles realitzant maniobres, haurà de reduir la seva velocitat de forma que el temps per a trobar una plaça d'aparcament augmentarà considerablement.

Per a poder expressar els costos que té l'usuari per a trobar una plaça es pren un temps promig de busca de plaça (t_{pla}) i d'aquesta forma:

$$c_{pla} = VdT \cdot t_{pla} \quad (52)$$

$$C_{pla} = VdT \cdot t_{pla} \cdot D \quad (53)$$

La dependència d'aquests dos últims temps de molts factors externs totalment aleatoris al moment en que cada usuari accedeixi a la terminal fa que en aquests casos s'hagi de realitzar un estudi considerant variables aleatòries i expressions probabilístiques. L'aprofundiment en aquest sentit no ha estat objecte d'aquesta tesina.

3.3.6 Cost d'accés al destí

El cost d'accés al destí es realitza de forma anàloga al cost d'accés al servei i al cost d'accés al destí de l'usuari de l'aparcament de llarga estada. Aquest cost és anàleg al cost d'accés degut a que la plaça ocupada per cada usuari és diferent i aleatòria a la vegada.

Tot i això, no es pot fer servir la formulació utilitzada en l'accés ja que en aquest cas, l'ascensor o les escales no es troben al mig de la planta majoritàriament sinó en un extrem. Per tant, el que es prendrà és una distància mitjana d'accés a l'ascensor com la meitat de la longitud a recórrer des de la plaça més allunyada (d_{lluny}).

L'altra distància a considerar en aquest apartat sí que és coneguda, que és la distància des de la porta o ascensor de l'aparcament fins als taulells de facturació més propers (d_{ac}).

En aquest cas, tal i com s'ha realitzat anteriorment, la velocitat del vianant s'ha pres de 3.3 km/h i també s'ha de considerar un factor de temps percebut de 2.2 degut a que els usuaris que van caminant ho fan carregats amb maletes.

D'aquesta forma la formulació a utilitzar en aquest punt és:

$$t_{ad} = \frac{d_{lluny} + d_{ac}}{v} \quad (54)$$

$$t_{p,d} = 2.2 \cdot t_p \quad (55)$$

I els costos per a cada usuari i per la infraestructura de l'accés al destí diàriament és:

$$c_d = VdT \cdot t_{p,d} \quad (56)$$

$$C_d = VdT \cdot t_{p,d} \cdot D \quad (57)$$

4. DESENVOLUPAMENT METODOLÒGIC

En aquest apartat el que es realitza és el desenvolupament metodològic de la tesina, centrat en donar-li un sentit pràctic a la investigació realitzada i per a poder obtenir uns resultats posteriorment en l'apartat d'aplicació pràctica.

La creixent preocupació en la realització d'un bon disseny i distribució dels aparcaments als aeroports rau en el fet que poden arribar a ser unes infraestructures molt rendibles econòmicament parlant per al gestor de la infraestructura.

En l'aparcament d'un aeroport, com en tota infraestructura gestionada per una empresa privada, l'objectiu principal és complir uns objectius econòmics donant el millor servei possible a la societat per a poder-los obtenir.

Pensant en aquesta direcció, es pretén obtenir un model de forma que a partir de fixar la rendibilitat esperada al llarg de la concessió es pugui obtenir el nombre de places necessàries a l'aparcament per atendre la demanda futura de vehicles a l'aeroport i a partir de certs paràmetres triar quina serà la distribució més adient per assolir l'objectiu fixat.

4.1 Obtenció de la demanda futura de vehicles

El disseny de les infraestructures aeroportuàries de la mateixa forma que totes les grans infraestructures es fa amb la intenció de donar un nivell de servei esperat en un any horitzó, que normalment coincideix amb el límit de la concessió de la gestió de la infraestructura.

Per a poder donar un bon nivell de servei en un any horitzó, una de les tasques més importants en els estudis previs de la infraestructura és fer una bona estimació de la demanda d'usuaris que tindrà la infraestructura en el futur.

Una estimació incorrecta d'aquesta demanda pot provocar que si el valor és inferior al real el que es produirà serà un nivell de servei inferior al desitjat l'any horitzó. En el cas dels aparcaments dels aeroports això vol dir que no es pot donar servei a tots els vehicles que es voldria i que la infraestructura s'ha saturat causant una mala imatge tan de l'aparcament com de l'aeroport, situació no desitjada per part dels gestors de l'aeroport.

Per altra banda, si el valor estimat de demanda és superior al real, la infraestructura estarà infrautilitzada respecte a les previsions inicials i tindrà com a conseqüència que la

inversió no resultarà tan rendible com s'esperava.

A continuació es realitza l'explicació de la determinació de la demanda futura de vehicles als aparcaments d'una terminal d'aeroport. Aquesta determinació s'ha de fer amb molta cura ja que aquesta demanda depèn de molts paràmetres que s'han d'estimar correctament.

Tots aquests paràmetres serveixen per a deduir la demanda de vehicles a l'any horitzó a partir del valor de passatgers esperats l'any horitzó a l'aeroport.

El valor de passatgers esperats a l'any horitzó es determina a partir de les dades actuals de la infraestructura si aquesta ja existeix o d'estimacions d'atracció si la infraestructura encara no existeix. A partir d'aquestes dades i fent una estimació del creixement esperat del trànsit aeri a l'aeroport que és objecte de l'estudi.

Per a realitzar una bona estimació de la demanda futura, s'ha de separar la demanda actual de passatgers a l'aeroport en passatgers de vols de curta durada (de fins a 4h o vols dins de la UE) o vols de llarga durada (de més de 4h de duració o vols de fora de la UE) així com l'estimació de les taxes de creixement de les diferents tipologies de vols degut a que no tenen per què ser iguals.

Aquesta distinció es realitza perquè els vols que siguin de curta durada majoritàriament estan associats a estades als aparcaments de com a molt 1-2 dies, i majoritàriament relacionats a un aparcament de curta estada situat a prop de la terminal. Mentre que els vols de llarga durada estan associats a estades als aparcaments de com a mínim 3 dies, més relacionats amb un estacionament a un aparcament de llarga estada situat a una certa distància de la terminal.

El paràmetre que hem utilitzat per al càlcul d'aquesta distinció entre vols de curta durada i de llarga durada és la ξ , de forma que a partir del valor de passatgers totals inicials podem calcular:

$$V_{0,st} = V_0 \cdot \xi \quad (58)$$

$$V_{0,lt} = V_0 \cdot (1 - \xi) \quad (59)$$

D'aquesta forma podem determinar el volum de passatgers de cada tipologia en l'any que es desitgi amb la següent formulació:

$$V(t) = V_{st}(t) + V_{lt}(t) \quad (60)$$

$$V_{st}(t) = V_{0,st} \cdot e^{\mu_{st} \cdot t} \quad (61)$$

$$V_{lt}(t) = V_{0,lt} \cdot e^{\mu_{lt} \cdot t} \quad (62)$$

On;

$V(t)$ és el volum de passatgers anuals de l'aeroport en un any t .

$V_{st}(t)$ és el volum de passatgers anuals de l'aeroport en un any t de vols de curta durada.

$V_{lt}(t)$ és el volum de passatgers anuals de l'aeroport en un any t de vols de llarga durada.

$V_{0,st}$ és el volum de passatgers anuals de l'aeroport de vols de curta durada l'any de l'inici de l'explotació.

$V_{0,lt}$ és el volum de passatgers anuals de l'aeroport de vols de llarga durada l'any de l'inici de l'explotació.

μ_{st} és la taxa de creixement esperada dels vols de curta durada.

μ_{lt} és la taxa de creixement esperada dels vols de llarga durada.

t és l'any en el que es vol determinar el volum de passatgers de cada tipologia d'aparcament

Un cop obtingut el volum de passatgers en l'any desitjat, per poder determinar la demanda de vehicles, hem de realitzar una filtració de les dades per obtenir un resultat real, que és molt diferent al valor obtingut de l'aplicació directa de la fórmula.

Primer de tot, s'ha de tenir present que els valors determinats anteriorment són els valors a partir dels quals es realitzarà tota la deducció fins a arribar al nombre de places de cada aparcament.

Per tant, és important comentar, que en aquest punt s'ha assumit un risc en el fet d'acceptar uns valors de taxes de creixement normalment a 25-30 anys vista i que per causes externes a la dinàmica del transport aeri es puguin veure modificats de forma substancial al llarg del període de concessió de l'aparcament. No és objecte d'aquesta tesina l'estudi i consideració d'aquest risc en la consideració de la taxa de creixement esperada per a cada

tipologia de vols.

S'ha de realitzar una filtració, ja que quan es comptabilitzen els passatgers que van a un aeroport, és comptabilitzen tan els passatgers d'entrada com els de sortida, per tant, un mateix usuari en el mateix aeroport es comptabilitza dues vegades, quan marxa i quan arriba.

A partir d'aquesta primera filtració, i ja pensant en l'objectiu del disseny de l'aparcament de l'aeroport, s'han de considerar certs percentatges que permetran arribar a la determinació del nombre de vehicles privats que s'atrauen anualment a l'aeroport.

Per a obtenir el nombre de vehicles privats atrets en un any a l'aeroport s'ha de tenir present el percentatge de viatgers que no arriben a entrar a la terminal, els passatgers de trànsit (ρ).

Amb aquesta consideració, el nombre de passatgers obtinguts, són els passatgers que entren i surten de la terminal, però per al dimensionament de l'aparcament només interessin els passatgers que arriben o marxen en vehicle privat (V'), per tant, s'ha de descomptar el percentatge de passatgers que per accedir a la terminal utilitzen tant el transport públic, el taxi o que utilitzen la zona habilitada de *kiss&ride*¹ (σ).

$$V'_{st}(t) = \frac{V_{st}(t)}{2} \cdot (1 - \rho) \cdot (1 - \sigma) \quad (63)$$

$$V'_{lt}(t) = \frac{V_{lt}(t)}{2} \cdot (1 - \rho) \cdot (1 - \sigma) \quad (64)$$

El següent pas en l'obtenció del nombre de vehicles de cada aparcament és el de trobar quants passatgers utilitzaran cadascun dels pàrquings de la terminal. L'obtenció d'aquests valors V^*_{ST} i V^*_{LT} es realitza a partir de la caracterització dels vols que arriben a la terminal segons si són de curta o llarga durada o si són de plaer o de negocis de la següent manera:

Taula 2. Caracterització dels vols atrets segons el motiu del viatge

	Curta durada	Llarga durada
Negocis	θ_1	θ_2
Plaer	θ_3	θ_4

¹ Zona d'aparcament on no es permet permanències superiors a 5 minuts. Anomenat també anteriorment a la tesina com a *curbside spaces*.

On els diferents valors de θ representen el repartiment dels vols de l'aeroport en funció dels 2 criteris indicats anteriorment. Els valors de θ indiquen el motiu del viatge, ja que s'apliquen sobre els valors de $V'_{st}(t)$ i $V'_{lt}(t)$ i per tant la distinció de la tipologia de viatge ja està feta. D'aquesta forma s'ha de veure que la suma entre θ_1 i θ_3 ha de donar 1. Amb els dos paràmetres que fan referència als vols de llarga durada s'ha de fer la mateixa consideració.

A partir d'aquí es realitza una combinació lineal de les diferents possibilitats degut a les següents consideracions:

- Els viatges de negocis, tot i que siguin de curta durada poden suposar un desplaçament de més d'un dia, per tant, són usuaris potencials de l'aparcament de llarga estada
- Els viatgers de negocis que marxen per llargues temporades, el més probable, és que accedeixin a la terminal acompanyats per altra gent i per tant, siguin usuaris de l'aparcament de curta estada
- El mateix raonament serveix per als viatges de plaer, tot i que en aquest sentit els percentatges que s'han utilitzat d'usuaris que utilitzen l'aparcament de llarg termini és més reduït que el dels usuaris en viatge de negocis.

Aquesta combinació lineal es realitza a partir dels paràmetres χ que apareixen a les equacions mostrades a continuació. Aquests paràmetres s'estimen a partir de les consideracions explicades anteriorment i són totalment dependents de les característiques de cada aeroport. En cada estudi que es realitzi, s'han de calibrar per adaptar el model a la situació real de cada aeroport.

$$V^*_{ST}(t) = \chi_1 \cdot \theta_1 \cdot V'_{st}(t) + \chi_2 \cdot \theta_2 \cdot V'_{lt}(t) + \chi_3 \cdot \theta_3 \cdot V'_{st}(t) + \chi_4 \cdot \theta_4 \cdot V'_{lt}(t) \quad (64)$$

$$V^*_{LT}(t) = (1 - \chi_1) \cdot \theta_1 \cdot V'_{st}(t) + (1 - \chi_2) \cdot \theta_2 \cdot V'_{lt}(t) + (1 - \chi_3) \cdot \theta_3 \cdot V'_{st}(t) + (1 - \chi_4) \cdot \theta_4 \cdot V'_{lt}(t) \quad (65)$$

Un cop obtinguts aquests volums de passatgers, el següent pas és determinar la quantitat de vehicles anuals que s'atrauran a la terminal segons l'aparcament que utilitzaran els usuaris degut a la seva tipologia de viatge (D_c).

Per a poder definir correctament aquest valor s'ha de conèixer el rati de passatgers per vehicle que utilitza l'aparcament de cada una de les tipologies de pàrquing. És important conèixer aquest rati en els 2 tipus d'aparcament perquè en principi no és el mateix (η_{ST} i η_{LT})

$$D_{c,ST}(t) = \frac{V^*_{ST}}{\eta_{ST}} \quad (66)$$

$$D_{c,LT}(t) = \frac{V_{LT}^*}{\eta_{LT}} \quad (67)$$

Els valors obtinguts anteriorment són els que determinen la demanda de vehicles que es produirà l'any t a cada aparcament de la terminal. Tot i això, el disseny dels aparcaments de la terminal no es pensa per a tots els vehicles que s'estima que vindran cada any, sinó que el disseny es realitza per a atendre un cert percentatge (K) de la demanda produïda a l'any horitzó.

$$D'_{c,ST,hor}(t_{hor}) = K \cdot D_{c,ST}(t_{hor}) \quad (68)$$

$$D'_{c,LT,hor}(t_{hor}) = K \cdot D_{c,LT}(t_{hor}) \quad (69)$$

Aquest valor és el que servirà de referència per a poder tan realitzar el dimensionament de l'aparcament, com per a realitzar l'estudi econòmic de rendibilitat que anteriorment s'ha explicat.

El nombre de vehicles que utilitzaran cada any cadascun dels aparcaments ($D_c^*(t)$) dependrà si aquest, supera o no el nombre de vehicles que s'ha marcat com a objectiu atendre durant l'any horitzó. A partir del moment en el que s'arribi a aquest volum de vehicles no es podrà atendre a més usuaris dels que han determinat el dimensionament de les instal·lacions com s'indica a continuació:

$$D_{c,ST}^*(t) = \begin{cases} D_{c,ST}(t) & \text{si } D_{c,ST}(t) \leq D'_{c,ST,hor}(t_{hor}) \\ D'_{c,ST,hor}(t_{hor}) & \text{si } D_{c,ST}(t) > D'_{c,ST,hor}(t_{hor}) \end{cases} \quad (70)$$

$$D_{c,LT}^*(t) = \begin{cases} D_{c,LT}(t) & \text{si } D_{c,LT}(t) \leq D'_{c,LT,hor}(t_{hor}) \\ D'_{c,LT,hor}(t_{hor}) & \text{si } D_{c,LT}(t) > D'_{c,LT,hor}(t_{hor}) \end{cases} \quad (71)$$

4.2 Obtenció del nombre de places necessàries a cada tipologia d'aparcament

A partir de la dada del nombre de vehicles als quals es vol donar servei durant l'any horitzó, per a determinar el nombre de places a cada aparcament es divideix aquest nombre per 365 de forma que es determina el nombre de vehicles diaris als que s'ha de donar servei.

Aquest valor, no acaba de ser del tot cert, degut a que no tots els dies de l'any el trànsit aeri té la mateixa freqüència, per tant, no tots els dies arriben els mateixos passatgers ni vehicles a la terminal.

Per altra banda, es coneix per part d'AENA (Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea) que la relació entre el dia tipus i el dia de més trànsit anual és de 1.2. El trànsit del dia pic és un 20% superior al del dia tipus. Però no es pot dimensionar l'aparcament per al trànsit del dia pic, ja que d'aquesta forma la infraestructura infrautilitzada molt més temps del que es voldria i per tant, la inversió no seria tan rendible.

Al llarg de la tesina es considera que el dimensionament de la infraestructura es fa a partir d'un valor d'un factor F de més càrrega que el dia mig, de forma que els dies que estiguin una mica més saturats també s'obtindrà un nivell de servei bo. Cal dir també, que la problemàtica de tenir un nivell de servei no desitjat no es produirà fins bastants anys després de l'inici de la concessió com s'ha explicat anteriorment perquè aquest percentatge s'aplica sobre valors de l'any horitzó.

Si es continua estudiant la determinació del nombre de places de cada aparcament, el següent paràmetre en el que s'ha de fer esment és en el temps de residència dels vehicles en les dues tipologies d'aparcament (t_{ST} i t_{LT}) en dies/vehicle.

Aquest temps és molt important en el dimensionament, perquè el que determina és la rotació dels usuaris, per tant, per un valor constant de places construïdes, si el temps de residència es redueix, es podrà donar servei a més usuaris.

Apart, és el valor que permet fer una estimació dels ingressos obtinguts de la recaptació de les places de pàrquing ocupades pels usuaris al llarg de l'any, que és un valor molt necessari per a l'estudi de rendibilitat del projecte.

Considerant de forma conjunta la dada del volum de vehicles esperats a l'any horitzó un cop afectat pel factor F que es considera per a tenir menys dies en els que no es doni tan bon servei i el temps de residència dels vehicles a cada tipus d'aparcament es pot determinar el nombre de places que es necessita a cada aparcament.

$$N_{ST} = F \cdot \frac{D'_{c,ST,hor}(t_{hor})}{365} \cdot t_{ST} \quad (72)$$

$$N_{LT} = F \cdot \frac{D'_{c,LT,hor}(t_{hor})}{365} \cdot t_{LT} \quad (73)$$

4.3 Determinació de les dimensions dels aparcaments a construir

Un cop determinades el nombre de places necessàries per a cada tipologia és quan comença el procés de decisió dels gestors de la infraestructura per a decidir la distribució real

que tindran els aparcaments.

Mitjançant el paràmetre β i el nombre total de places necessàries s'obtenen quantes places es construiran de cada tipologia (X_{ST}, X_{LT}).

$$N = N_{ST} + N_{LT} \quad (74)$$

$$X_{ST} = \beta \cdot N \quad (75)$$

$$X_{LT} = (1 - \beta) \cdot N \quad (76)$$

Un cop determinades les places a construir de cada aparcament, a partir de la superfície ocupada per cada plaça de pàrquing tenint present totes les necessitats funcionals de cada tipologia de pàrquing s'obté la superfície en planta necessària en cada cas.

$$S_{st} = \frac{X_{ST}}{S_{placa,st}} \quad (77)$$

$$S_{lt} = \frac{X_{LT}}{S_{placa,lt}} \quad (78)$$

Pel que fa a l'aparcament de llarg termini, aquesta superfície serà la que es construirà. En el cas de l'aparcament de curt termini aquest és el valor en planta de totes les places dissenyades, per tant encara s'ha de tenir present que la superfície disponible a prop de la terminal normalment serà inferior a la superfície trobada.

A partir de les dimensions de longitud (w) i amplada (z) de la parcel·la disponible per al pàrquing de curta estada es determina la superfície d'afectació en planta. Amb aquestes dues superfícies es determina el nombre de plantes (r') que ha de tenir l'aparcament i posteriorment l'alçada total de l'edifici a construir.

$$S_{const} = w \cdot z \quad (79)$$

$$r = \frac{S_{st}}{S_{const}} \quad (80)$$

$$r' = [r]^+ \quad (81)$$

$$h = h_{planta} \cdot (r' - 1) \quad (82)$$

4.4 Determinació de la rendibilitat econòmica de la inversió

Com s'ha comentat anteriorment, la decisió final sobre la distribució de les places

d'aparcament es fa a partir de l'estudi de la rendibilitat de cada una de les opcions possibles. El criteri econòmic que s'ha fixat com a mesura és el de la Taxa Interna de Rendibilitat (TIR).

4.4.1 Taxa Interna de Rendibilitat (TIR)

Per a l'obtenció de la TIR el que s'ha de determinar és el flux econòmic que es produeix al pàrquing des del moment en què es comença la construcció dels aparcaments fins que finalitza la concessió de la gestió de la infraestructura.

Un cop es coneixen les característiques geomètriques dels aparcaments a construir es pot determinar la inversió a realitzar en cadascun dels aparcaments a partir d'un valors estimats del cost per metre cúbic d'aparcament volumètric sense tancament exterior i del cost de construcció per metre quadrat d'aparcament superficial. A tots els costos constructius se li afegeix un cost d'estructura, que fa referència a tots els tràmits a realitzar sigui quina sigui la tipologia de l'obra, on s'inclouen els permisos d'obra, la realització del projecte, etc.

Les inversions de la construcció d'aparcaments de terminals d'aeroports acostumen a ser molt importants i per tant necessiten d'un finançament extern molt important. Per tant, a l'hora de determinar les despeses anuals, s'ha de tenir present el cost d'aquest finançament, segons els anys que es trigarà en pagar la inversió i també els interessos que generarà aquest finançament. El fet de no considerar aquests interessos pot portar a desviacions considerables a curt termini en inversions tan grans.

Un cop finalitzat el projecte i es posa en funcionament la instal·lació apareixen els costos d'explotació dels aparcaments. En aquest cas, són valors bastant diferents degut a les característiques tan diferenciades dels dos tipus d'aparcament estudiat.

L'aparcament de curta estada, té uns costos de manteniment per plaça més reduïts que els de l'aparcament superficial tot i que les instal·lacions que té són més complexes que les de l'aparcament superficial, la gran quantitat de places de l'aparcament, fa que el cost unitari sigui més reduït.

L'aparcament de llarga estada té uns costos de manteniment per plaça d'aparcament bastant més elevats tot i que les instal·lacions necessiten menys manteniment (les d'aigua no són en alçada, la il·luminació durant gran part del dia no està funcionant i no té ascensors) perquè generalment té una quantitat de places molt més reduïda fa que el cost unitari augmenti. Per altra banda, aquest aparcament té un cost afegit en la seva gestió com és el del servei de connexió amb autobusos llançadora fins a la terminal.

Els costos del servei de connexió inclouen tots els paràmetres explicats anteriorment i a partir del càlcul dels costos anuals es pot arribar a deduir un valor del cost per quilòmetre del servei. Per tant, coneixent la localització de l'aparcament respecte la terminal i la freqüència de pas que es vol oferir als usuaris s'obté el cost d'explotació del servei de connexió.

El servei de connexió té una inversió inicial important ja que s'ha d'adquirir la flota d'autobusos per a realitzar el servei. Com s'ha vist anteriorment es compren els vehicles necessaris per a l'operativa diària més 2 ó 3 autobusos per poder seguir donant un bon nivell de servei en cas que es produeixin avaries o quan es realitzi el manteniment.

Per poder realitzar un dimensionament correcte de la flota d'autobusos s'ha de realitzar el càlcul de la dimensió de la flota des de dos punts de vista i en cada situació triar la quantitat d'autobusos més gran.

Per una banda es fa el dimensionament de la flota tenint present la distància de l'aparcament de llarga estada a la terminal aeroportuària i l'interval de pas que es vol mantenir en el servei d'autobusos.

Per altra banda, es fa el dimensionament de la flota fixant com a paràmetre limitador la capacitat dels autobusos. Un cop obtingut el nombre de passatgers que utilitzaran l'aparcament de llarg termini es pot determinar la quantitat d'autobusos necessària per a portar tots aquests usuaris a la terminal. Tal i com s'ha dit anteriorment, la quantitat d'autobusos de flota definitiu serà el màxim de les dues opcions calculades.

Tal i com s'ha dit anteriorment, els costos de connexió de l'usuari, tan els de l'aparcament de curt termini com el de llarg termini, no s'han tingut presents en el càlcul de la TIR ja que són uns costos que s'han de tenir present de forma objectiva per a la presa final de decisions i a més no influeixen en la rendibilitat del projecte des del punt de vista dels gestors de la infraestructura.

El càlcul dels ingressos que s'obtenen durant l'explotació de l'aparcament es basen únicament en la recaptació del cobrament de les estades del vehicles als diferents aparcaments. Per poder fer una estimació dels ingressos de cada any, s'han de tenir presents les consideracions mencionades anteriorment del nombre de vehicles als quals es dona servei cada any en comparació al valor de l'any horitzó.

Per altra banda, s'ha de determinar un preu per hora promig de la tarifa que s'aplicarà a cada aparcament. Aquest preu s'ha d'aproximar en cada cas per separat, perquè les tarifes

en cada aparcament són totalment diferents ja que els temps d'estada varien molt d'un pàrquing a l'altre.

Un cop determinades les tarifes, juntament amb el temps de residència de cada tipologia d'aparcament mencionats anteriorment i amb el nombre de vehicles que utilitzaran el pàrquing anualment es determinen els ingressos de l'aparcament.

Els estudis econòmics de rendibilitat de les grans infraestructures es fan tenint present tot el període de concessió de l'activitat i per tant, es fan càlculs normalment a un mínim de 25 anys vista. Un altre paràmetre important a tenir present és l'actualització dels preus segons l'IPC, que influeix tan en els costos del manteniment i la gestió com en els ingressos per la variació del preu de la tarifa.

En aquest punt ja es pot determinar la Taxa Interna de Rendibilitat (TIR) sense cap problema ja que s'han determinat tots els paràmetres que influeixen en l'estudi econòmic de la inversió.

La determinació de la TIR s'ha realitzat a partir de la funció TIR() de l'Excel. Però per a fer un estudi exhaustiu de la rendibilitat de la inversió s'han calculat 3 taxes internes de rendibilitat:

- TIR del projecte
- TIR després d'impostos o dels beneficis
- TIR financera

La primera que s'ha calculat, és la TIR del projecte, en la que influeix el cost del projecte i els fluxos de caixa que es produeixen durant aquests anys. En aquesta TIR no es considera com s'ha finançat la inversió realitzada.

En segon lloc s'ha calculat la TIR dels beneficis, es calcula a partir de l'anterior i als resultats de cada any se li ha de treure el pagament d'impostos sobre els beneficis que obtindrà l'empresa concessionària. En aquest cas el percentatge que s'ha considerat és d'un 25% dels beneficis.

Per últim, la TIR que s'ha calculat és la que s'anomena la TIR financera i és on sí que importa com s'ha finançat la inversió. S'ha de tenir present sobre quants anys s'està pagant els interessos. Aquests interessos variaran depenent del percentatge de finançament extern que ha obtingut el projecte. En aquest cas s'ha considerat que es realitza un 20% de la inversió mitjançant fons propis i el 80% a partir de préstecs bancaris. Aquests percentatges són els

mínims que exigeix la llei espanyola actualment.

La inversió inicial es segueix comptabilitzant tota al principi (per poder calcular correctament el valor de la TIR amb l'Excel) però la distribució dels interessos sí que es fa en temps. Amb aquesta rendibilitat es pot analitzar a partir de quin moment s'obtenen aquests beneficis per a dividends del capital privat.

Per a saber si el projecte compleix les expectatives econòmiques creades, el que s'ha de fer és comparar el valor de la TIR obtinguda del model amb una TIR esperada pel gestor de la infraestructura. Si la TIR obtinguda està per sota d'aquest valor es podran modificar certs paràmetres del disseny sobre els quals el gestor té possibilitat de decidir de forma que el resultat obtingut sigui el desitjat.

4.4.2 Paràmetres modificables

Per a poder determinar els paràmetres sobre els quals el gestor de la infraestructura pot realitzar alguna modificació s'ha realitzat una anàlisi de sensibilitat de la TIR. Amb aquesta anàlisi el que s'ha pogut determinar és com varia la TIR en funció d'aquests paràmetres i així poder identificar amb quins d'ells es pot esperar obtenir una variació sensible del resultat obtingut.

Primer de tot es presenten quins són els paràmetres sobre els quals es pot realitzar alguna modificació:

- La distribució de les places construïdes de curt i llarg termini (β)
- El percentatge de vehicles als que es vol donar servei a l'any horitzó (K)
- Duració del finançament extern per a la realització del projecte (c)
- Tarifa de l'aparcament de llarga estada (τ_{lt})
- Tarifa de l'aparcament de curta estada (τ_{st})
- Distància a la que es troba l'aparcament de llarga estada (L)
- Interval de pas entre els vehicles del servei de connexió (interval)

Per a la realització de l'estudi de sensibilitat el que s'ha fet l'estudi de la rendibilitat de la inversió en els aparcaments de la nova terminal T-1 de l'aeroport del Prat. Un cop determinada la TIR del projecte, amb tots els altres paràmetres constants s'han modificat els paràmetres indicats anteriorment un a un de forma independent, i d'aquesta forma s'ha obtingut una gràfica de l'evolució de la TIR. A partir de la interpretació de les gràfiques es pot veure si la TIR és sensible o no davant la variació d'un paràmetre.

Amb la identificació dels paràmetres davant dels quals la TIR és relativament sensible el gestor de la infraestructura tindrà palanques de maniobra per a poder obtenir el benefici desitjat amb la gran inversió que suposa la construcció dels aparcaments per a una terminal d'aeroports.

5. COSTOS GENERALITZATS DELS USUARIS

L'apartat que es presenta a continuació, intenta posar de manifest tot el desenvolupament teòric realitzat al voltant del cost dels usuaris en el seu accés a la terminal combinat amb el preu de la tarifa a aplicar a l'aparcament.

A partir d'aquests dos elements es pot obtenir de forma senzilla una expressió general dels costos generalitzats dels usuaris com la que es mostra a continuació:

$$CG = \tau + VdT \cdot t_a \quad (83)$$

On la τ és la tarifa a pagar als aparcaments, VdT és el valor del temps i el t_a és el temps d'accés de cada usuari a la terminal.

Aquesta senzilla expressió, exigeix un treball de caracterització molt important de les seves variables per a poder obtenir un valor dels costos generalitzats que s'adeqüi a la realitat en cada cas. La caracterització ve donada perquè la situació que es troba en cada cas l'usuari no és la mateixa, ja que si no el valor d'aquests costos seria constant al llarg dels anys d'exploació de la infraestructura.

D'entrada, ja es pot assegurar, que aquests costos, seran creixents, només pel fet de l'actualització del preu de la tarifa amb el pas dels anys, però a partir de tot el que s'ha estudiat amb anterioritat es pot deduir que aquesta expressió del Cost Generalitzat és una expressió que depèn del temps, no només en el valor de les seves variables, sinó en l'expressió en ella mateixa.

Com s'ha dit anteriorment, el dimensionament dels aparcaments es realitza a partir d'estimar la demanda futura de vehicles a un any horitzó i posteriorment determinar quin percentatge d'aquests usuaris es voldrà satisfer a l'aparcament i quins no. Aquest fet, provoca que durant la majoria d'anys no hi hagi cap problema amb els usuaris que desitgin utilitzar l'aparcament, però a partir d'un cert moment, el pàrquing quedarà saturat i un cert nombre d'usuaris haurà de passar a utilitzar altres modes de transport per accedir a la terminal aeroportuària.

5.1. Variables

A continuació es realitza la caracterització de les variables necessàries per a poder

realitzar el càlcul dels costos generalitzats sense problemes.

La determinació d'aquestes variables es fa tenint present l'existència del temps llindar (t^*) a partir del qual als aparcaments de la terminal hi ha una demanda superior a la que es pot atendre segons el dimensionament realitzat. L'existència d'aquest temps llindar no fa que canviï el valor de la variable, sinó que s'hagi de considerar una situació diferent.

5.1.1. Tarifa

La tarifa és una variable que augmenta constantment degut a l'actualització del preu que es realitza amb el pas dels anys a partir de l'IPC. És una variable, el valor de la qual, depèn de l'any, no si ens trobem abans de l'any llindar o no.

La diferència que provoca l'any llindar és que a partir d'aquest, es considera tan la tarifa dels usuaris del pàrquing com la dels usuaris que utilitzen el transport públic. Per tant, els dos valors que tenim de la tarifa són els següents:

$$\tau_p(t) = \tau_{p,0} \cdot (1 + IPC)^{t-1} \quad (84)$$

$$\tau_{TP}(t) = \tau_{TP,0} \cdot (1 + IPC)^{t-1} \quad (85)$$

5.1.2. Valor del Temps

El funcionament de la variable del Valor del Temps és el mateix que el de la tarifa. Fins l'any llindar, tots els usuaris que volien utilitzar els aparcaments de l'aeroport tenen un valor del temps igual (VdT). A partir de l'any llindar, tots aquells usuaris que volien utilitzar el vehicle privat per accedir a la terminal i que han de canviar pel transport públic tenen un valor del temps superior de valor:

$$VdT_{TP} = k \cdot VdT_{VP} \quad (86)$$

5.2. Cost Generalitzat

Pel càlcul del Cost Generalitzat dels usuaris en l'accés a la terminal aeroportuària, s'ha de considerar totes les situacions esmentades amb anterioritat i les diferents formulacions que s'han descrit de les variables.

Per a poder realitzar un càlcul correcte del cost generalitzat un cop es supera el temps

llindar (t^*) es realitza una ponderació dels costos de cada un dels grups d'usuaris (els que poden utilitzar l'aparcament i els que no). La formulació resultat és la següent:

$$\begin{cases} \text{si } t \leq t^* & CG(t) = \tau_p(t) + VdT_{VP} \cdot t_a \\ \text{si } t > t^* & CG(t) = \frac{(\tau_p(t) + VdT_{VP} \cdot t_a) \cdot K \cdot D_{hor} + (D(t) - K \cdot D_{hor}) \cdot (\tau_{TP}(t) + VdT_{TP} \cdot t_{a,TP})}{D(t)} \end{cases} \quad (87)$$

On $K \cdot D_{hor}$ són els vehicles que es volen donar servei a l'any horitzó i a partir dels quals es realitza el dimensionament dels aparcaments. La $D(t)$ és la demanda de vehicles que es tindrà als aparcaments en funció de l'any en el que es realitza el càlcul del cost generalitzat.

5.3. Aplicació pràctica

En aquest apartat s'ha realitzat un exemple pràctic per valorar quina és la tendència que segueixen els costos generalitzats del usuaris al llarg dels anys de la concessió de la infraestructura.

La realització d'aquest cas pràctic es fa a partir de dades obtingudes dels accessos a la terminal T1 de l'Aeroport del Prat de Barcelona.

Per a la tarifa dels aparcaments, s'ha ponderat els valors que s'han utilitzat al llarg de la tesina, per a obtenir un valor mitjà que s'aplica a tots els usuaris. Aquest valor és de 13.3€ per a cada usuari que entra als aparcaments.

Pel que fa a la tarifa que paguen els usuaris que es dirigeixen a la terminal en transport públic, però que inicialment ho volien fer en vehicle privat, s'ha considerat totes les possibilitats que existeixen a l'actualitat com són; l'Aerobús, l'autobús nocturn, el taxi i el tren. A partir de la consulta de totes les seves tarifes i d'una ponderació del 45% pels autobusos, un 25% pel taxi i un 30% pel tren, la tarifa obtinguda és de 8.9€ per viatger. Aquests percentatges que s'utilitzen per a la ponderació dels preus a pagar en cada cas, s'han estimat a partir del servei que ofereix cada una de les possibilitats i del preu de cadascuna d'elles.

El temps d'accés utilitzat en el cas dels passatgers que utilitzen el vehicle privat ha estat de 0.5h, mentre que el del transport públic, dins de totes les seves opcions, s'ha considerat 1h, degut a les parades i a que fa el recorregut que realitza no és el més curt possible.

L'estimació del Valor del Temps, s'ha realitzat a partir de la dada obtinguda dels apunts de l'assignatura de Transports II (Robusté, F) on es considera el VdT de 10.13 €/h un cop

realitzada l'actualització del preu a l'any 2012. Pel que fa al VdT dels usuaris que han de fer servir el transport públic contra la seva voluntat inicial és de 22.29 €/h. Es considera un factor corrector $k = 2.2$.

Les dades corresponents a la demanda esperada a l'any horitzó i la de cada any als aparcaments s'ha obtingut a partir del model explicat amb anterioritat i que s'ha utilitzat per a realitzar l'estudi de sensibilitat. El percentatge de vehicles als que es vol donar servei a l'any horitzó es considera d'un 70%. S'ha utilitzat un percentatge menor, de forma que així es podrà veure de forma clara el canvi de tendència dels costos generalitzats.

La gràfica que es mostra a continuació (Figura 20) respon al que s'esperava inicialment, uns costos generalitzats amb constant creixement degut a l'actualització dels preus de les tarifes en cada cas. A la gràfica es mostren dues línies, per a que es pugui apreciar millor el canvi de tendència que es produeix un cop s'arriba al límit de la capacitat dels aparcaments i els usuaris han de començar a utilitzar altres modes de transport. La línia vermella és la que indica els costos generalitzats si els aparcaments es dimensionessin per a la demanda de l'any horitzó.

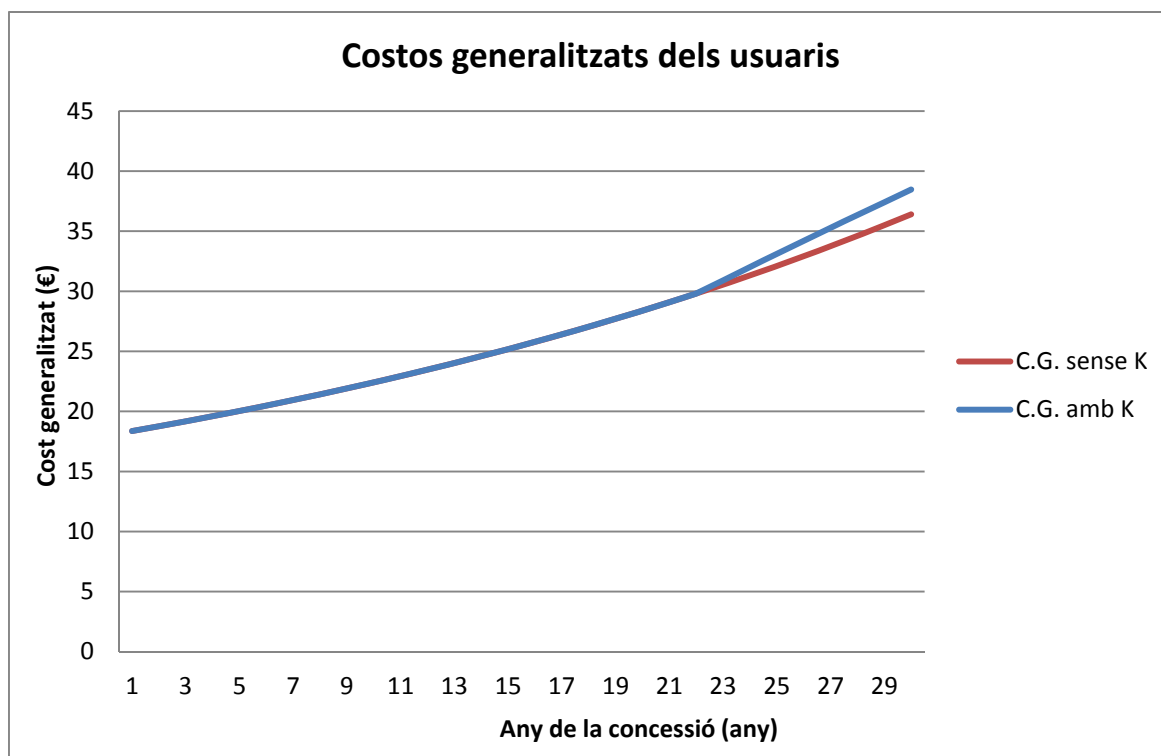


Figura 2. Costos generalitzats dels usuaris

Els costos generalitzats dels usuaris mostren que com més proper sigui l'any lliurar en el que s'arribi a la saturació de l'aparcament, abans es produeix un augment dels costos que percep l'usuari en

el seu accés a l'aeroport i per tant, la seva funció utilitat disminueix considerablement.

Per a realitzar un bon dimensionament dels aeroports, tal i com ja s'ha comentat anteriorment, s'ha de tenir present no només la combinació d'elements obtinguda des del punt de vista del gestor de la infraestructura amb criteris exclusivament econòmics, sinó que s'ha de fer un estudi dels costos de l'usuari amb cada combinació i com evolucionaran al llarg del temps per a realitzar una inversió no només que sobre el paper sigui rendible sinó que ho sigui realment perquè atrau fàcilment als usuaris.

6. ESTUDI DE SENSIBILITAT

L'estudi de sensibilitat de la TIR s'ha realitzat, com s'ha dit anteriorment, a partir de l'estudi de la rendibilitat del projecte de construcció i gestió dels aparcaments de la nova terminal de l'aeroport del Prat.

Per a poder calcular la rendibilitat s'ha hagut de determinar tot un conjunt de paràmetres. Aquests paràmetres s'han obtingut a partir de la sol·licitud de dades tan a l'empresa propietària de les instal·lacions (AENA) com la gestora de la infraestructura (Abertis) i de dades obtingudes de les informacions públiques dels aparcaments de la terminal que apareixen al seu espai web.

Com es veurà a continuació hi ha molts paràmetres que davant la impossibilitat d'obtenir valors reals, s'han estimat seguint criteris exposats en cada cas per tal de poder continuar amb l'estudi de sensibilitat. S'ha cregut que es podia seguir així, ja que el que es vol no és un valor exacte, sinó veure la tendència de la variació de la TIR quan es produeixen canvis en certes variables.

Totes les variables estudiades són les que a priori s'ha suposat que podrien tenir un efecte sobre la rendibilitat econòmica del projecte, tot i això, com es veurà a continuació hi ha uns quants paràmetres que tenen una incidència molt poc destacable en els valors de la TIR.

6.1 Estimació dels paràmetres necessaris per a l'estudi de sensibilitat

Els paràmetres que s'han hagut d'estimar per a la realització del model i per a poder fer l'estudi de sensibilitat de la TIR es poden classificar en 3 categories, els paràmetres relacionats amb la determinació de la demanda futura als aparcaments de la terminal, els paràmetres relacionats amb la inversió i despeses en l'explotació de la infraestructura i per últim, els relacionats amb els ingressos d'aquesta explotació.

6.1.1 Paràmetres relacionats amb l'estimació de la demanda futura

Els paràmetres que apareixen primer en el càlcul de la demanda futura a l'aparcament de l'aeroport són les dues taxes de creixement dels vols de curta i llarga durada. Com s'ha dit anteriorment, els primers estan relacionats amb vols de com a màxim 3-4 hores i que, en el cas de Barcelona, són vols majoritàriament de la UE mentre que els de llarga durada són tots els

provinents de fora de la UE. Aquests paràmetres es coneixen de forma aproximada a partir dels estudis de previsió de creixement del trànsit aeri europeu.

S'ha demanat aquesta dada a AENA, i davant la inexistència de cap resposta per part seva, s'ha pres un creixement esperat del 4% en els vols de curta durada i un 6% en els de llarga durada, ja que l'aeroport de Barcelona està fent esforços per fer créixer les connexions intercontinentals.

L'altre dels paràmetres que influeix en la caracterització de la demanda futura és el paràmetre que marca la distribució del nombre de passatgers en vols de curt termini i de llarg termini. Aquest és un paràmetre que s'ha pogut utilitzar a partir de les dades facilitades pel Departament d'Estadística d'AENA i el seu valor ha estat del 85% de passatgers de vols de dins de la UE.

Tot i això, degut al comentat anteriorment, s'ha pres una ponderació del valor dels 3 últims anys i no al valor de l'any 2009, ja que és un percentatge que s'està reduint considerablement any a any per les noves connexions intercontinentals.

Un cop determinada la demanda futura de la terminal aeroportuària a partir de les taxes de creixement, els següents paràmetres es centren en la caracterització d'aquesta demanda per poder obtenir la demanda de l'aparcament.

Un dels paràmetres estudiats és el percentatge de passatgers que arriben a la terminal però que realitzen el trànsit a d'altres vols. Aquest valor sí que s'ha pogut prendre de forma exacta i és d'un 15 % a l'any 2010.

Després de descomptar els passatgers de trànsit, ja tenim el valor dels passatgers que entren i surten de les portes de la terminal. El següent paràmetre estudiat és el que fa referència al percentatge de passatgers que arriben o marxen en transport públic col·lectiu o taxi. Aquest paràmetre també s'ha hagut d'estimar suposant que és d'un 40% dels passatgers.

Aquest valor pot semblar una mica sobredimensionat degut a que actualment les connexions de transport públic de la T-1 de l'aeroport del Prat no estan finalitzades, però és el paràmetre que s'ha utilitzat per a reduir el nombre d'usuaris de l'aparcament fins als que van utilitzar els aparcaments de la terminal durant el primer any d'explotació (dada obtinguda de les notes de premsa d'AENA).

Pel que fa als paràmetres relacionats amb la caracterització de la demanda segons la durada i el motiu del vol, no s'ha obtingut cap dada ni d'AENA ni del Instituto de Estudios

Turísticos de Ministeri d'Indústria, Energia i Turisme. Per tant, com s'ha fet anteriorment en aquest cas, s'ha realitzat una estimació del seu valor.

Pel que fa a la caracterització del motiu del viatge, del 85% dels viatges de curta durada que rep l'aeroport s'ha estimat que un 60% d'aquests viatges són de negocis i un 40% d'aquests viatges són de plaer, ja que la ciutat de Barcelona s'està especialitzant en un gran mercat de fires i convencions internacionals. Pel que fa als vols de llarga durada, el 15% del total de vols, els hem repartit en un 66 % pels viatges de negocis i un 33% en els viatges de plaer seguint el mateix criteri que els de curta durada.

El següent paràmetre a considerar és el repartiment d'aquests passatgers en els diferents aparcament. Aquests paràmetres tampoc s'han pogut obtenir de cap font d'informació oficial i per tant, s'han estimat. Els valors que s'han estimat han estat els percentatges de cada tipologia de vol que utilitza l'aparcament de curta estada, de forma que queda també caracteritzat el de llarga estada.

A partir de les justificacions realitzades en l'apartat de desenvolupament metodològic, s'ha estimat en un 85% els passatgers de vols de curta durada, tan de negocis com de plaer, que utilitzen l'aparcament de curt termini. Pel que fa als passatgers de vols de llarga durada, el 40% dels passatgers de vols de plaer utilitzaran l'aparcament proper a la terminal, mentre que només el 10% dels passatgers de negocis utilitzaran aquest aparcament.

Els últims paràmetres a estimar per obtenir el nombre de vehicles que utilitzen cada aparcament fan referència als ratis d'ocupació dels vehicles que arriben a la terminal. Són uns paràmetres molt importants, ja que fins ara s'havia obtingut el nombre de passatgers que utilitzen els aparcaments, però el que es vol conèixer, és el nombre de vehicles.

No ha estat possible obtenir aquests ratis ni per part de la concessionària de l'aparcament ni per la propietària de la infraestructura, per tant, s'han estimat a partir dels següents criteris. Els usuaris de l'aparcament de curt termini s'ha estimat en 2.3 passatgers per vehicle, ja que en aquesta categoria entren gairebé tots els viatges de gent que viatja de vacances, que majoritàriament els porten a la terminal. Pel que fa als usuaris de l'aparcament de llarga estada s'ha pres amb 1.4 passatgers per vehicle, degut a que la majoria d'usuaris d'aquest aparcament seran de viatge de negocis, i hi ha molts més passatgers que viatgen sols.

Taula 3. Resum dels paràmetres a utilitzar a l'estudi de sensibilitat

Variable	Valor	Variable	Valor
V_o	27.000.000	χ_1	0.85
μ_{st}	0.04	χ_2	0.1
μ_{lt}	0.06	χ_3	0.85
ξ	0.85	χ_4	0.4
ρ	0.15	η_{st}	2.3
σ	0.4	η_{lt}	1.4
θ_1	0.6	t_{st}	0.125
θ_2	0.66	t_{lt}	3
θ_3	0.4	τ_{st}	50
θ_4	0.33	τ_{lt}	11

6.1.2 Paràmetres relacionats amb l'estimació dels costos de construcció i gestió

La inversió realitzada en les dues tipologies d'aparcaments s'ha realitzat a partir de l'estimació d'un cost per metre cúbic en el cas de l'aparcament de curta estada i del cost de construcció per metre quadrat en el cas de l'aparcament de llarga estada.

L'estimació d'aquests valors s'ha realitzat a partir de la compilació de les notes de premsa públiques d'AENA de la construcció de diferents aparcaments tan volumètrics com superficials. A partir dels costos d'aquestes inversions i de les característiques geomètriques de cada aparcament s'ha obtingut un valor promig per a totes les inversions realitzades a l'estat. Per a fer una estimació correcta s'ha utilitzat la taula del banc de preus de l'iTeC que homogeneïtza els preus de les diverses regions per a poder comparar-los correctament.

El cost obtingut per a la construcció de l'aparcament volumètric és de 117 €/m³ i el valor obtingut per a l'aparcament superficial és de 503 €/m². Per al càlcul del volum de les infraestructures, s'ha obtingut la superfície en planta ocupada per l'aparcament i s'ha pres com a alçada entre plantes de 2.5 metres, ja que l'alçada per planta dels aparcaments és més reduïda que la d'un edifici d'oficines o d'habitatges.

Per a la determinació dels volums i superfícies necessàries a construir en cada cas s'ha hagut de determinar la superfície que ocupa cada plaça tenint present totes les infraestructures necessàries per al bon funcionament de cada aparcament. En el cas de

l'aparcament de curt termini, fent referència als ascensors, rampes, columnes, etc. I pel que fa a l'aparcament de llarg termini a les marquesines, parades del servei d'autobusos, etc.

A partir del llibre *"Airport Systems: Planning, Design and Management"* (de Neufville i Odoni, 2003) es coneix que l'ocupació mitjana d'una plaça en un aparcament volumètric (el de curta estada, ST) és de 35 m²/plaça tenint present la superfície necessària per als ascensors i les rampes.

D'aquesta forma és senzill obtenir la superfície en planta necessària per a situar totes les places de pàrquing obtingudes anteriorment. Si comparem aquest valor amb la superfície disponible per a l'aparcament de curta estada es pot deduir el nombre de plantes que haurà de tenir l'aparcament.

En la mateixa línia s'ha determinat l'ocupació de les places dels aparcaments superficials tenint present els espais per als vianants, superfície per a separar les places i per a circular els vehicles. El valor obtingut ha estat de 30 m²/plaça. Tot i això, aquest valor sobredimensiona una mica els aparcaments, ja que està pensat per aparcaments a l'aire lliure pel públic en general, per tant, entre dues fileres d'aparcament hi considera zones verdes. A partir de dades d'aparcaments d'aeroport s'ha pogut estimar en 26 m²/plaça. Amb aquest valor s'obté directament la superfície necessària per a l'aparcament de llarga estada (LT).

Els costos d'explotació i manteniment dels aparcaments s'han estimat de la mateixa forma, però en aquest cas s'ha realitzat una estimació del repartiment de costos d'explotació. La dada obtinguda de l'estudi de les notes de premsa d'AENA fa referència als costos de l'explotació del conjunt dels aparcaments. Per a la realització del model s'ha estimat un repartiment del 75% d'aquest cost per a l'aparcament de curt termini i el 25 % pel de llarg termini ja que s'ha considerat que les instal·lacions de l'aparcament volumètric seran més complexes que les de l'aparcament superficial.

A partir d'aquesta consideració i del nombre de places de cada aparcament s'ha pogut obtenir el cost d'explotació per plaça en cada cas. Pel que fa a l'aparcament de curta estada el cost és de 566.67 €/plaça, mentre que el cost d'explotació i manteniment de l'aparcament superficial és de 1730 €/plaça.

Relacionat amb els costos d'explotació, es troba el cost del servei de connexió amb la terminal mitjançant autobusos llançadora. Anteriorment s'ha explicat amb tot detall tots els elements que influeixen en el cost d'aquest servei. El cost per quilòmetre s'ha estimat en 4.3 €/km, dada obtinguda de TMB.

Per altra banda, considerant la distància de l'aparcament de llarga estada de la terminal (3km), l'interval de pas dels autobusos i la durada de la jornada del servei de connexió s'ha pogut estimar la longitud recorreguda diàriament pel conjunt d'autobusos de la línia. La durada de la jornada a l'aeroport de Barcelona s'ha considerat de 15h amb un interval de pas de 6.5 minuts. La longitud recorreguda diàriament és de 830 km.

Per al càlcul de les dimensions de la flota que s'ha realitzat de forma paral·lela en funció de la quantitat de passatgers que utilitzaven l'aparcament de llarga estada, s'ha considerat que la capacitat dels autobusos és de 100 passatgers. Aquesta dada s'ha estimat a partir de la dada de que en un autobús BRT té una capacitat de 180 passatgers (Segurana,O., 2006) i que els passatgers en aquest cas la gran majoria d'ells porten maletes. D'aquesta forma s'ha d'habilitar unes estructures al seu interior de forma que es puguin deixar les maletes reduint la capacitat de l'autobús de forma considerable.

Les últimes dades que falten per caracteritzar del servei de connexió són les que permeten obtenir el dimensionament de la flota d'autobusos necessaris. La longitud diària recorreguda pel servei i la freqüència de pas són les determinades amb anterioritat. Pel que fa a la velocitat es pren una velocitat mitjana de 20km/h degut a que per dins de l'aparcament la seva velocitat serà de 30km/h, per les vies de connexió arribarà als 60-70 km/h, posteriorment a la zona de l'aeroport haurà de tornar a reduir la velocitat i s'ha de tenir present el temps que passa a les parades. S'ha pres com a estoc de seguretat 3 autobusos de forma que es pot respondre a qualsevol imprevist que es presenti i si es produeix un augment de la demanda puntual, es podrà mantenir el nivell de servei. El cost de cada autobús 200.000€/bus (Segurana, O., 2006).

Pel que fa als paràmetres que estan relacionats amb el finançament de la inversió per la realització del projecte s'ha pres el 3.5 % de TAE com a valor estàndard de l'interès anual del finançament. Pel que fa a la durada del retorn del préstec s'ha estimat en 10 anys ja que la inversió a realitzar és molt elevada.

Les tarifes dels aparcaments, tan el de curt termini com el de llarg termini, s'ha obtingut un valor promig de €/hora a partir de les tarifes actuals de l'aparcament actualitzades a l'any 2009 que és quan es va estrenar la terminal.

Per a estimar les tarifes de cadascun dels aparcaments s'ha ponderat el preu de cada tram pel nombre d'hores que s'aplica i d'aquesta forma s'ha obtingut el preu promig. La tarifa de l'aparcament de curta estada és de 2.523 €/h mentre que la de llarga estada és de 0.483

€/h.

La diferència de preu entre els aparcaments radica en el diferent ordre de magnitud de les estades, al de curta estada, les permanències són d'hores, mentre que a les de l'aparcament de llarga estada són de dies.

6.1.3 Paràmetres relacionats amb l'estimació dels ingressos de l'explotació

Un dels paràmetres importants en el càlcul dels ingressos és el temps de permanència dels usuaris a cada aparcament. Degut a la desconexença d'aquesta dada (el gestor només ha fet pública la dada de permanència global als 2 aparcaments de la terminal), s'ha considerat un temps de residència de 48 hores a l'aparcament de llarga estada, ja que els viatges de negocis acostumen a començar majoritàriament entre dilluns i dimarts i a acabar entre dimecres i dijous. Degut a que entre aquests dies es poden trobar viatges d'un dia o de 3, s'ha pres la dada de 2 dies com a punt mig.

Pel que fa al temps de permanència de l'aparcament de curta estada, s'ha estimat en 3 hores, que és un valor d'equilibri entre els usuaris que utilitzen l'aparcament per deixar o recollir que són estades habitualment de com a molt dues hores i dels usuaris que utilitzen l'aparcament de curta estada per viatges que es realitzen durant el mateix dia.

6.2 Resultats obtinguts de l'estudi de sensibilitat

Primer de tot es presenten els resultats obtinguts de l'estudi de les 7 variables destacades anteriorment que han de ser les palanques de maniobra pels gestors de la infraestructura a l'hora de decidir les dimensions definitives dels aparcaments.

Per altra banda, s'ha realitzat una anàlisi de la sensibilitat de la TIR davant de paràmetres que s'escapen al control previ del gestor, per tal d'identificar quins d'aquests han de posar en alerta als gestors de la infraestructura per a prendre les decisions adequades i no obtenir resultats econòmics no desitjats.

6.2.1. Resultats de l'estudi de sensibilitat respecte les palanques de maniobra

- Percentatge de places construïdes d'aparcament de curta estada (β)

Els valors de $\beta = 0$ corresponen a tots els vehicles a l'aparcament de llarga estada i en superfície, mentre que la $\beta = 1$ correspon a la situació de que tots els vehicles s'aparquen al

costat de la terminal en un aparcament volumètric de grans dimensions.

Com es pot veure a la gràfica, la TIR és molt sensible amb la variació de la β en tot el seu rang. Per tant, és un paràmetre a tenir present com a palanca de maniobra per a obtenir uns millors resultats econòmics. La variació a la gràfica sembla lineal, però no ho és, té unes petites variacions en els increments de cada interval que coincideixen amb els salts d'escala produïts per l'augment del nombre de plantes de l'edifici de curta estada.

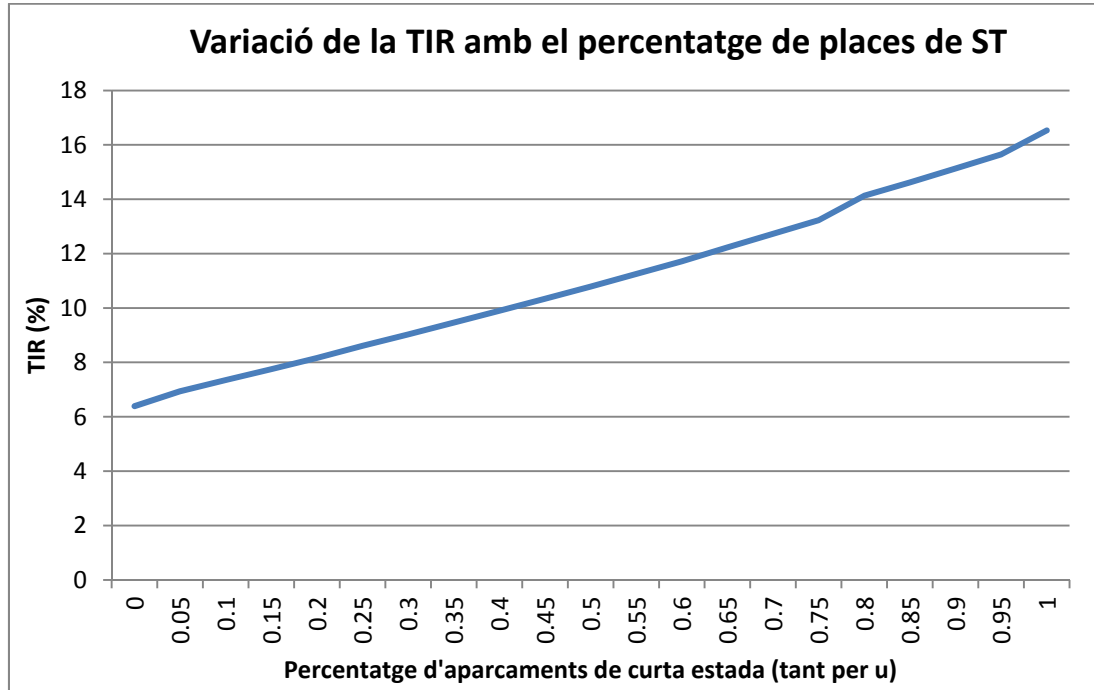


Figura 3. Variació de la TIR en funció del percentatge de places de curt termini

- Percentatge de vehicles als que es vol donar servei a l'any horitzó (K)

El comportament de la TIR en funció del percentatge de vehicles que als que es vol donar servei a l'any horitzó té un comportament per trams. En un primer tram fins 10% té una clara irregularitat ja que els aparcaments que es dimensionen són molt petits, per després ja prendre una tendència clarament descendent amb l'augment del percentatge de vehicles futurs als que hem de fer referència. Aquest fet és degut a que les infraestructures a dissenyar seran molt més grans i que per un mateix horitzó temporal la inversió a recuperar i per tant la rendibilitat de la mateixa es redueix clarament en percentatge.

Pel comportament de la TIR amb la K, és un dels paràmetres que es considerarà com a palanca de maniobra.

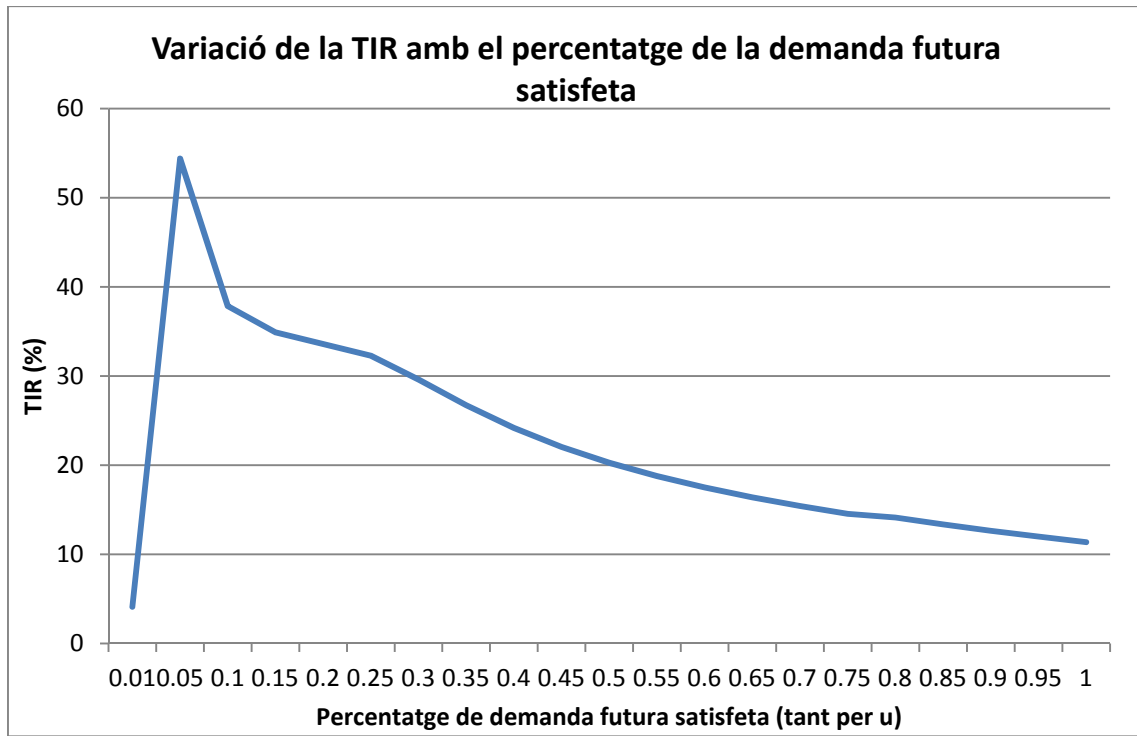


Figura 4. Variació de la TIR en funció del percentatge de la demanda futura satisfeta

- **Duració del finançament extern per a la realització del projecte (c)**

La sensibilitat de la TIR en funció dels anys que triguem en tornar el finançament extern també té un comportament per trams. Té un primer tram constant on encara no ha començat l'explotació del servei ni s'ha començat a fer el pagament dels interessos financers de la TIR i posteriorment va disminuint amb el temps. Tot i això la tendència clarament descendent que es mostra en valor és molt reduïda.

El paràmetre c es podrà considerar part de les palanques de maniobra, si el disseny obtingut és el desitjat o no hi ha moltes opcions de modificar-lo i els gestors es troben a prop de l'objectiu econòmic.

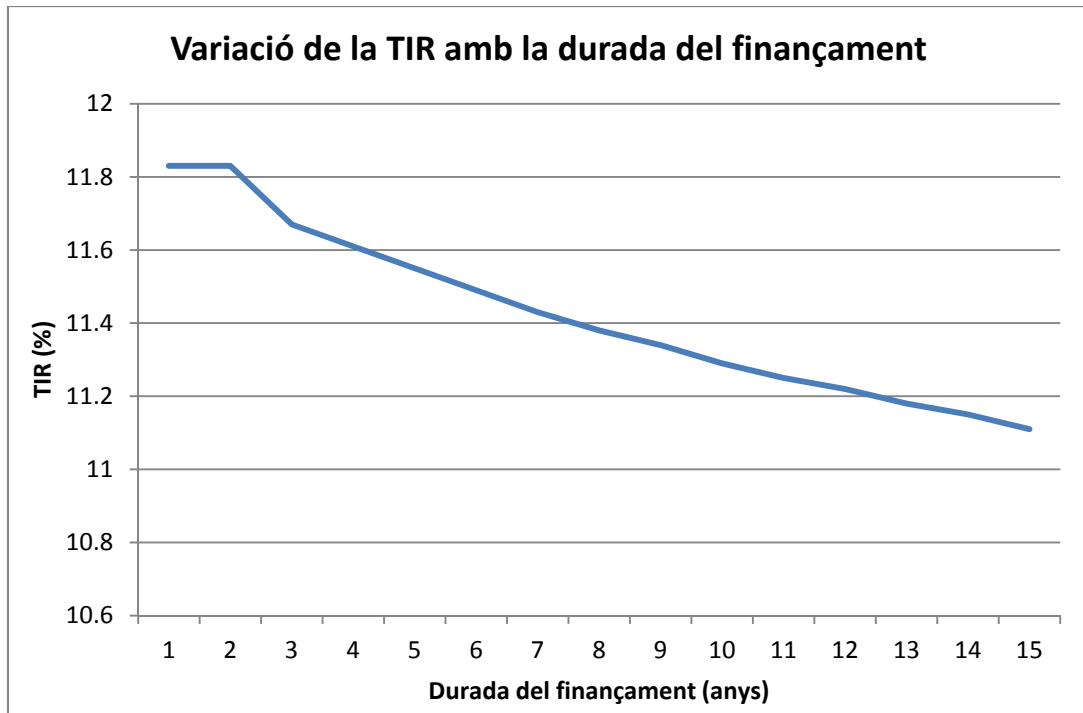


Figura 5. Variació de la TIR en funció de la durada del finançament

- **Tarifa de l'aparcament de curta estada (tst)**

La resposta de la TIR davant de la variació de la tarifa de l'aparcament de curta estada és de no molta sensibilitat. Tot i que tal i com es veu a la gràfica 4 el seu comportament és creixent amb el preu, la variació que es produeix en la TIR no arriba al 2%. Per tant, no és un paràmetre que es pugui considerar una palanca de maniobra pel gestor, tant pel que hem dit com pel que s'explica a continuació.

S'ha de tenir en consideració que en aquest estudi no es té present el canvi de comportament dels usuaris si pugem o baixem el preu un 20% o més, ja que en l'estudi no es pot introduir la variable de quants diners està disposat a pagar cada usuari.

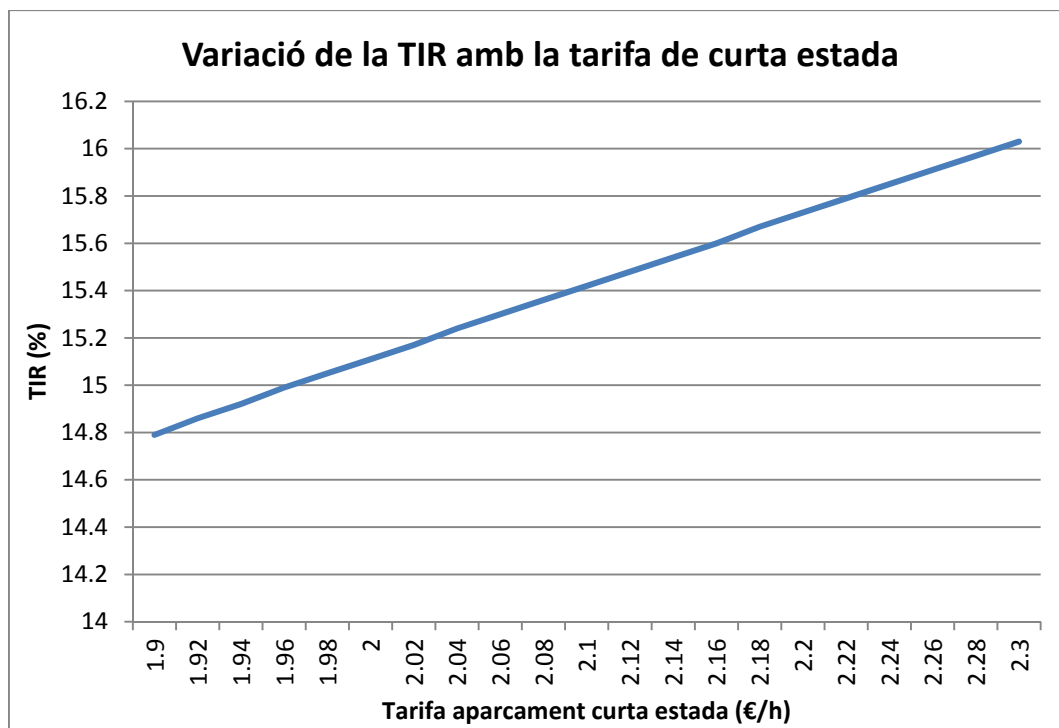


Figura 6. Variació de la TIR en funció de tarifa de curta estada

- **Tarifa de l'aparcament de llarga estada (τ_{lt})**

Pel que fa a la variació de la TIR si es modifica la tarifa de l'aparcament de llarga estada, apareix un resultat molt lògic però que no es pot acceptar com a tal sense un comentari. El resultat que s'obté com es pot veure a la gràfica 5 és que la TIR té molta sensibilitat davant la tarifa de llarga estada.

Un fet a destacar després d'haver estudiat la resposta de la TIR davant de la variació de les dues tarifes és el fet que els beneficis de l'aeroport són molt més sensibles a l'aparcament de llarga estada, i per tant, que és molt important dimensionar-lo bé i tenir molta cura amb les tarifes que s'hi imposen ja que es poden guanyar o perdre molts diners. Per tant, no es pot considerar la tarifa de llarga estada com una palanca de maniobra per als gestors de la infraestructura.

Per altra banda, un altre fet que es pot relacionar amb aquesta realitat és l'aparició en els darrers anys d'empreses privades que treballen en competència directa amb l'aparcament de llarga estada, fet que posa de manifest que és on s'obtenen molts beneficis.

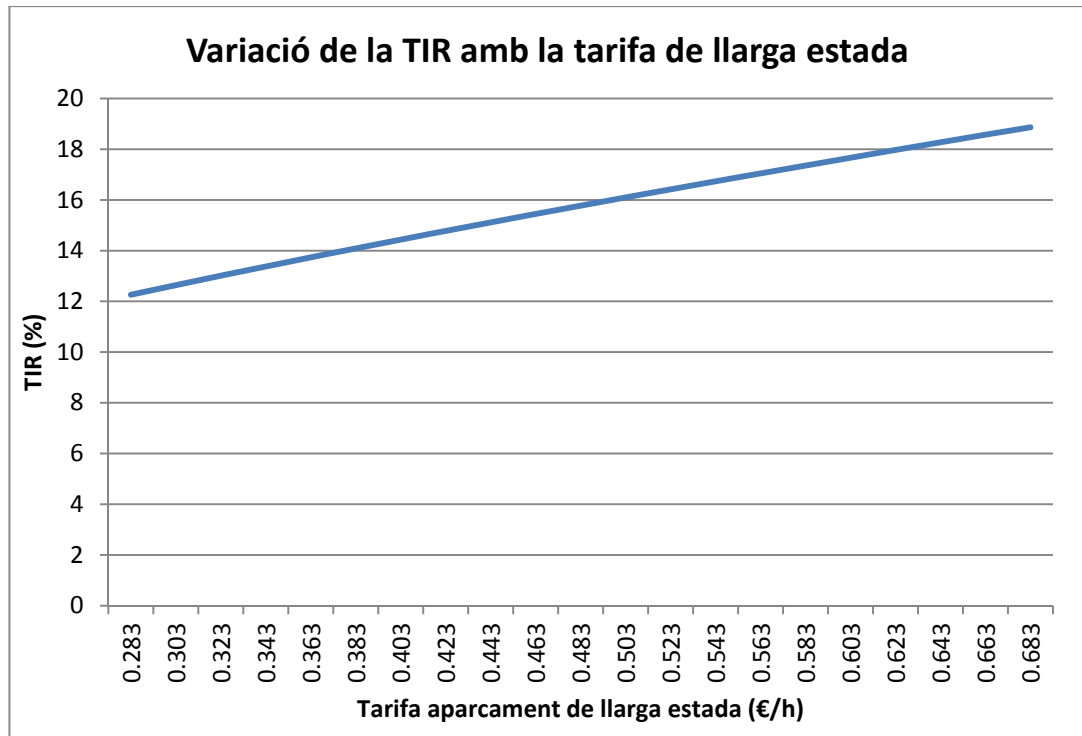


Figura 7. Variació de la TIR amb la tarifa de llarga estada

- **Distància a la que es troba l'aparcament de llarga estada (L)**

La sensibilitat de la TIR davant de la distància a la que es situa l'aparcament de llarga estada és marcadament descendent, a mida que s'allunya l'aparcament la TIR disminueix degut a que el recorregut del servei d'autobusos augmenta i per tant augmenten els costos de gestió i les dimensions de la flota necessàries per a mantenir el nivell de servei desitjat. Tot i això, la variació que s'observa no arriba al 2 % amb una variació de la distància a la terminal de 12km. Aquest fet porta a deduir que els gestors de l'aeroport poden buscar sense preocupacions econòmiques una situació d'aquest aparcament.

La distància L no és una palanca de maniobra a tenir present si es vol corregir la TIR obtinguda de l'estudi previ del projecte.

Per altra banda, en aquesta variable influeix el nivell de servei que es vol oferir a l'usuari d'aquest aparcament. Si l'aparcament està molt lluny de la terminal l'usuari serà més reticent a utilitzar-lo perquè un cop aparcant encara necessitarà un cert temps per arribar a la terminal.

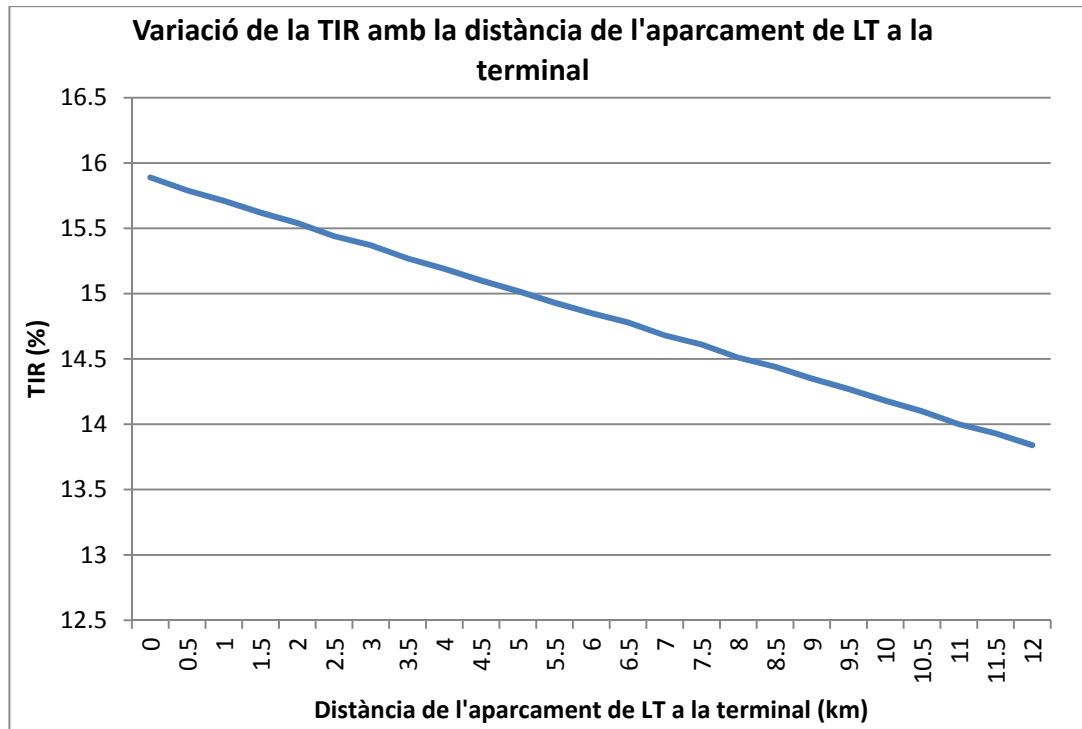


Figura 8. Variació de la TIR amb la distància de l'aparcament de LT a la terminal

- **Interval de pas entre els vehicles del servei de connexió (interval)**

La sensibilitat de la TIR davant de la variació de l'interval de pas entre els vehicles del servei de connexió entre l'aparcament de llarg termini i la terminal de l'aeroport és creixent amb l'augment de l'interval ja que com més gran és aquest interval, la longitud recorreguda és menor cada dia pel servei d'autobusos.

Aquest creixement no és lineal, com es pot veure a la gràfica 7 al principi l'augment és més pronunciat i finalment tendeix a una asíptota. Aquesta asíptota és així perquè arriba un moment que si s'augmenta més l'interval de pas no es podran portar els passatgers fins la terminal.

En conseqüència, l'interval de pas es pot decidir per donar un bon nivell de servei a l'usuari ja que la petita desviació que es pugui produir és fàcilment recuperable a partir d'altres paràmetres.

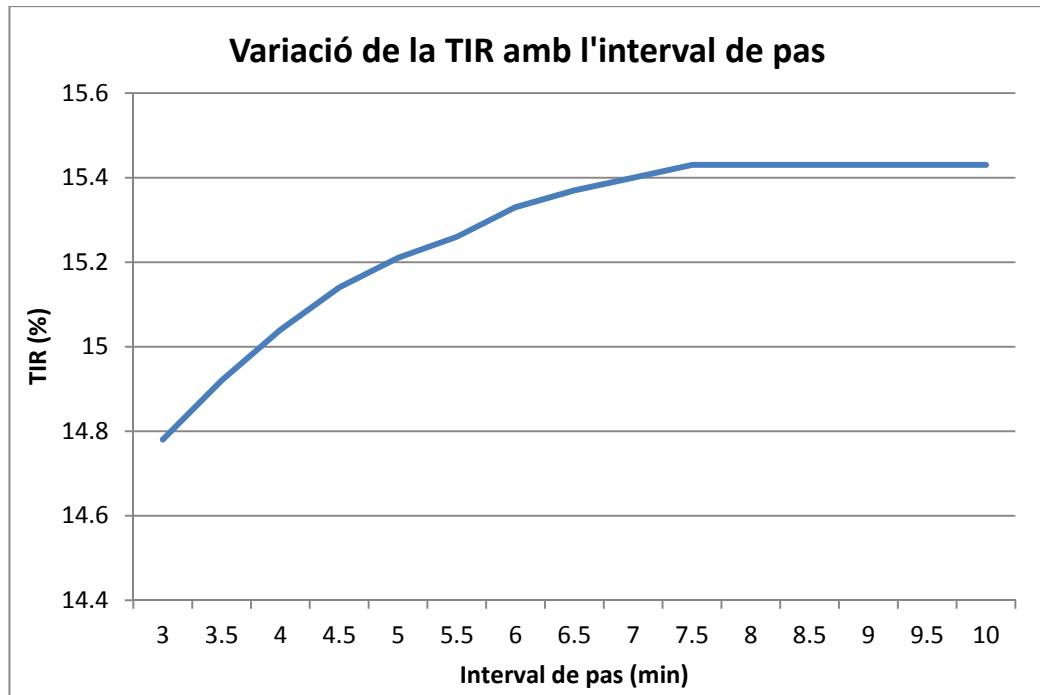


Figura 9. Variació de la TIR en funció de l'interval de pas

6.2.2 Conclusions de les palanques de maniobra

Un cop estudiats els 7 paràmetres que podien ser palanques de maniobra en el dimensionament de la infraestructura es pot concloure que:

- Els paràmetres β i K són els únics paràmetres que es poden considerar una palanca de maniobra amb conseqüències importants.
- La L i l'interval no són uns paràmetres a considerar si es vol millorar el resultat econòmic del projecte de forma considerable.
- La variació en les tarifes donaria que podrien arribar a influir, sobretot la tarifa de l'aparcament de llarg termini, però com s'ha dit anteriorment, s'hauria de fer un estudi exhaustiu per preveure la resposta dels usuaris davant augments considerables de les tarifes.

6.2.3. Resultats de l'estudi de sensibilitat respecte els paràmetres externs

Com s'ha dit anteriorment, ara es presenten els resultats de l'estudi de sensibilitat de la TIR en funció de les variables que s'escapen a les decisions dels gestors de la infraestructura, però que poden tenir una influència considerable en el resultat econòmic final.

La detecció de la influència d'aquests paràmetres és molt important, ja que un cop s'ha

realitzat el dimensionament de les infraestructures ja no es pot tirar enrere, només es pot intentar reaccionar a temps en cas que es necessiti una ampliació. En l'únic paràmetre en el qual sí que es pot reaccionar és en l'adaptació de la flota d'autobusos en el cas d'un augment de la quantitat de passatgers atesos a l'aparcament de llarga estada. Els paràmetres estudiats són els següents:

- **La taxa de creixement dels vols de curt termini (μ_{st})**

En aquest cas, el valor de la taxa de creixement fixada inicialment és de 0.04. El comportament de la TIR davant de la variació de la taxa de creixement de vols atrets de curta durada té forma parabòlica. Permet un petit augment fins a un 6% de taxa de creixement, però creixement majors o decreixements de la taxa esperada inicialment porten a pèrdues de rendibilitat que poden arribar a ser considerables.

En aquesta variable i en la següent, es considera que els paràmetres que marcaven la quantitat de passatgers que agafen el vehicle privat es mantindran amb la variació de les taxes de creixement. Si aquesta relació no es mantingués, les conclusions extreïdes d'aquestes dues variables no serien vàlides.

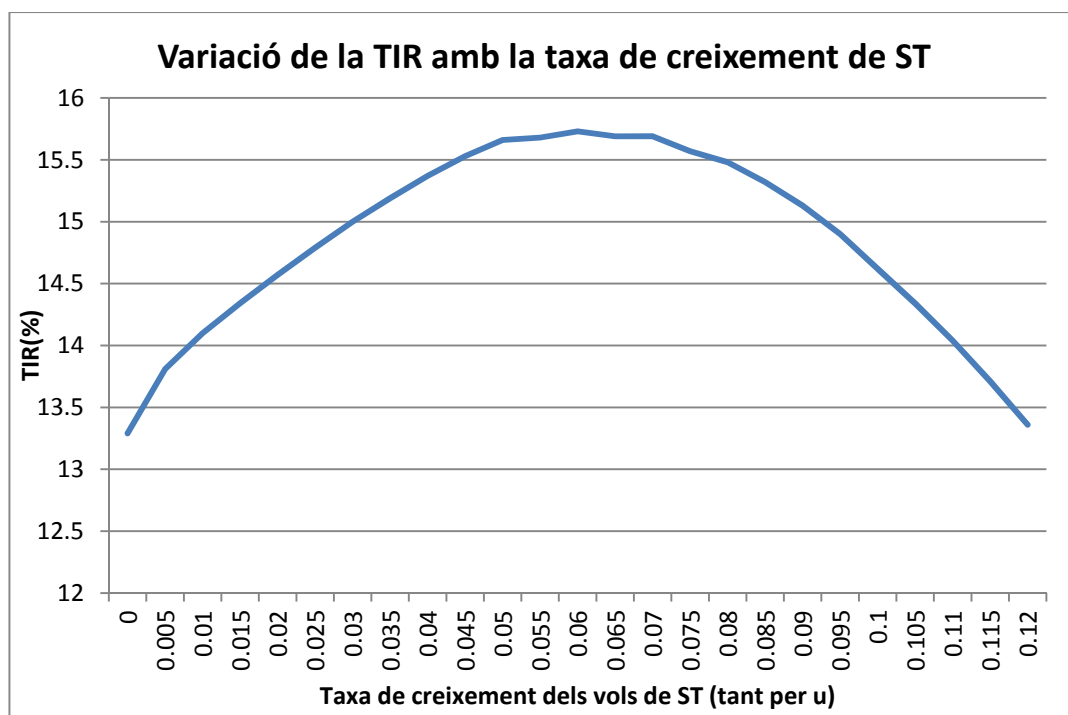


Figura 10. Variació de la TIR amb la taxa de creixement de ST

- **La taxa de creixement dels vols de llarg termini (μ_{lt})**

El comportament de la TIR amb la variació de la taxa de creixement de vols de llarg

termini és bastant diferent que el de la taxa dels vols de curt termini com es pot veure a la gràfica 9. En aquest cas, la dada d'origen és d'un 0.06. A la gràfica es pot veure que si es redueix aquesta taxa de creixement es produeix un augment de la rendibilitat molt petit. Aquest augment es deu a la quantitat de quilòmetres que realitzarà el servei d'autobusos. Per altra banda, si la taxa de creixement augmenta, la rendibilitat disminueix perquè la flota s'ha d'augmentar molt i per poder absorbir la quantitat de passatgers que rebrà l'aparcament, reduir considerablement l'interval de pas dels autobusos.

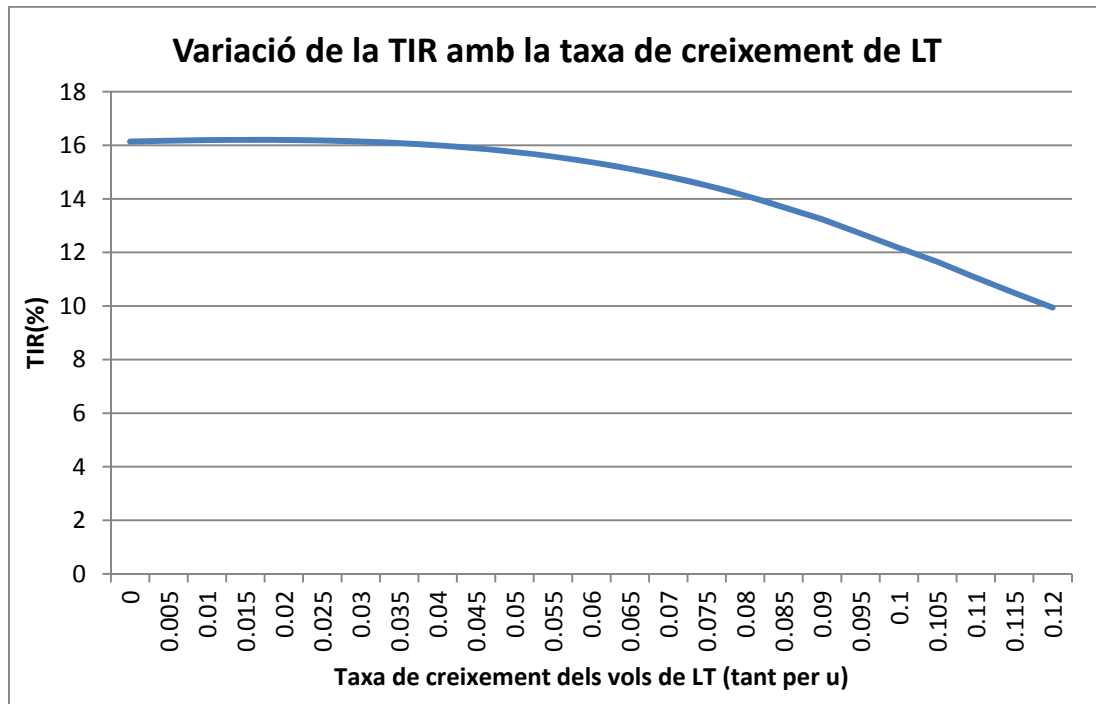


Figura 11. Variació de la TIR amb la taxa de creixement de LT

- **El percentatge de passatgers que viatja en transport públic col·lectiu o taxi (σ)**

El paràmetre davant el qual la TIR té un comportament més sensible és davant del percentatge de passatgers que accedeixen a la terminal en transport públic col·lectiu. Com es pot veure a la figura 11 té una variació molt important i arriba a tenir rendibilitats nul·les.

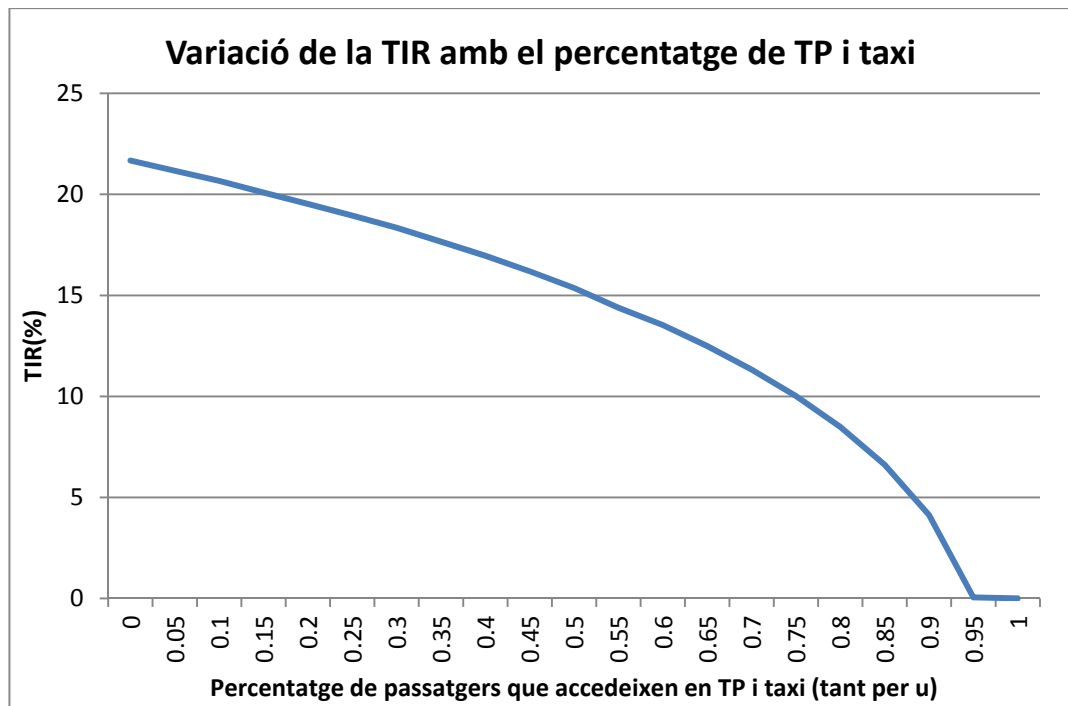


Figura 12. Variació de la TIR en funció del percentatge de TP i taxi

Estudiant aquest comportament posa en alerta als gestors d'aquestes infraestructures ja que en la seva planificació d'arribada de passatgers a la terminal ha de constar les possibles inversions en grans infraestructures de transport públic (línies d'autobús, metro, tren) que puguin tenir projectades els governs corresponents.

- **El rati de passatgers per cotxe de l'aparcament de curt termini (η_{st})**

La sensibilitat de la TIR davant variacions del nombre de passatgers per vehicle que accedeix a l'aparcament de curt termini és descendent amb l'augment d'aquest rati, però és un descens que inicialment té un pendent que posteriorment tendeix a suavitzar-se.

Tot i això, la variació que es produeix en la TIR en variacions importants d'aquest paràmetre és considerable per tant, és un paràmetre al que s'ha d'anar controlant la seva evolució.

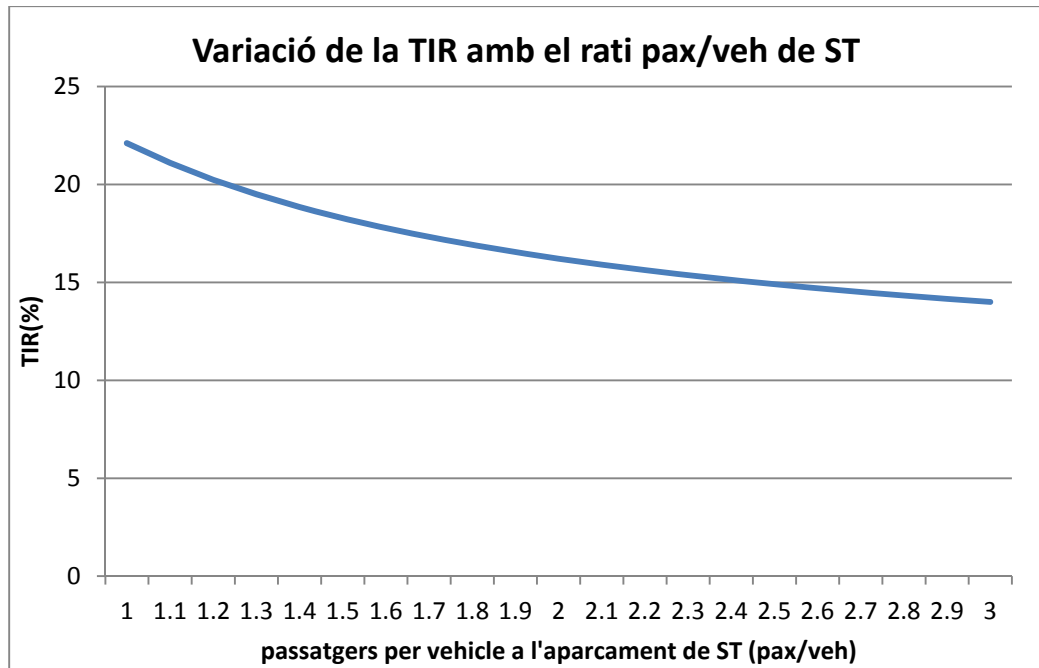


Figura 13. Variació de la TIR en funció del rati de passatgers per vehicle a l'aparcament de ST

- El rati de passatgers per cotxe de l'aparcament de llarg termini (η_{lt})

L'últim paràmetre a estudiar és el rati de passatgers per vehicle de l'aparcament de llarg termini. El comportament de la TIR té el mateix patró que el dels aparcaments de curt termini, però en aquest cas l'amplitud de variació de la TIR més reduïda. Tot i això, és un paràmetre que s'ha de tenir controlat durant els anys que dura l'explotació.

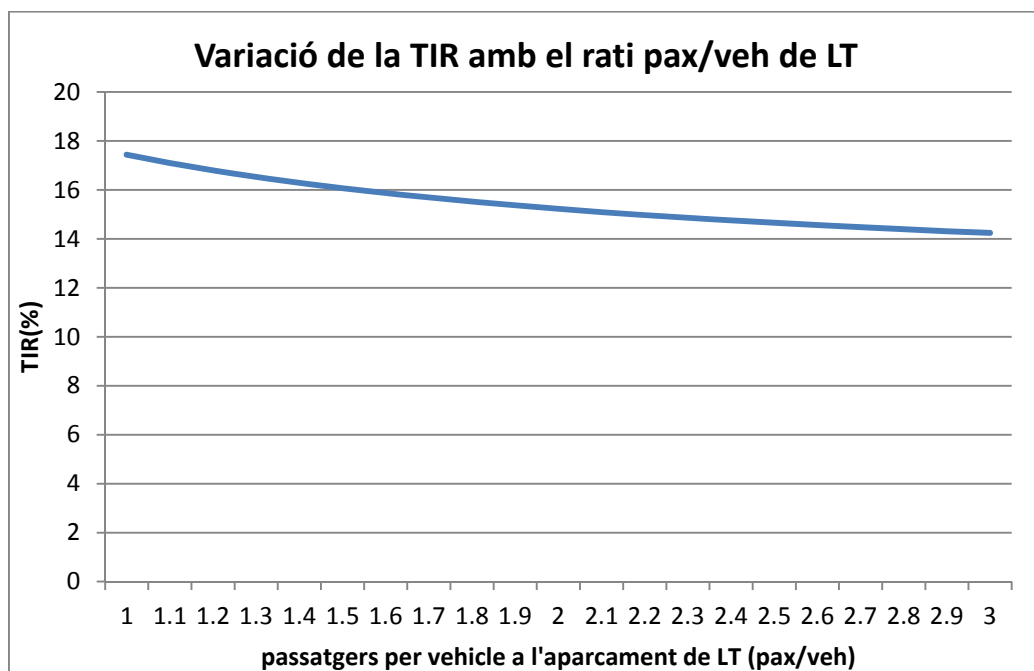


Figura 14. Variació de la TIR en funció del rati de passatgers per vehicle a l'aparcament de LT

6.2.4 Conclusions dels paràmetres externs

De tots els paràmetres estudiats es pot concloure, que s'han de tenir present tots aquests comportaments dels passatgers per tal de preveure accions amb la suficient rapidesa per a obtenir els beneficis esperats o per poder lluitar contra una situació que podria portar a pèrdues importants com pot ser el cas de si la variació del transport públic és molt important.

També s'ha de tenir present que en aquest estudi de sensibilitat cada vegada s'ha fet variar una variable mantenint la resta constant, per tant, si es produeixen variacions de dos paràmetres, l'efecte de les dues pot quedar anul·lat o augmentat tan de forma positiva com negativa.

En el cas de l'estudi de la infraestructura d'aparcaments que s'ha realitzat a la tesina, s'ha considerat una inversió inicial forta amb la construcció de les instal·lacions necessàries durant tota la concessió. En el cas que la inversió dels aparcaments es faci per trams segons el creixement de l'arribada de passatgers, el seguiment d'aquests 6 paràmetres que no es poden controlar esdevé molt més important per a poder realitzar les futures ampliacions quan realment sigui necessari o a temps per atendre un augment de la demanda futura.

7. MODEL

Un dels resultats finals de la tesina és un *Decision Support System*, una eina que a partir de certes dades conegudes pel gestor de la infraestructura serveixi per a prendre decisions a l'hora de repartir o quantificar les inversions en els aparcaments de les terminals d'aeroport.

El model s'ha realitzat a partir del programa Microsoft Excel on es presenten totes les variables i fórmules que es fan servir durant el procés i finalment al tercer full es realitzen tots els càlculs necessaris per a obtenir la TIR a partir de càlculs realitzats mitjançant el full de càlcul i la programació d'una macro amb Visual Basic per a l'obtenció dels valors de la TIR.

En aquest punt és en el que s'ha de donar valor a totes les variables presentades a l'apartat de desenvolupament metodològic. Aquests valors seran diferents en cada cas, ja que com s'ha dit anteriorment depenen directament de les característiques de l'aeroport, dels vols que rep i de la forma en la que actuen els passatgers.

Apart de tots els paràmetres relacionats amb el comportament dels usuaris i del trànsit aeri explicats amb detall anteriorment, s'ha de determinar un conjunt de variables que seran claus en la determinació de les dimensions i distribució dels aparcaments de l'aeroport. Aquests paràmetres són els següents:

- t_{const} , és el temps previst de durada de les obres de construcció dels aparcaments.
- t_{hor} , és la durada de la concessió de la gestió de l'aparcament.
- F , el factor punta de l'ocupació diària.
- L'ocupació per plaça tenint presents totes les instal·lacions necessàries per al funcionament de cada tipologia d'aparcament (rampes, ascensors, columnes, etc en el de curt termini, i marquesines en el cas del de llarg termini).
- El valor de l'Índex de Preus al Consum (IPC) que es pot considerar en la regió. Aquest valor serveix per a l'actualització dels preus de les tarifes i dels costos de manteniment de les instal·lacions.
- e , és el paràmetre que marca el percentatge d'interessos a pagar del finançament extern utilitzat per a pagar la inversió inicial.
- c , és la durada del període de finançament en el que es vol tornar tot el préstec.
- Les dimensions de la superfície en planta disponible per a l'aparcament de curt termini. Són els paràmetres w i z del model.

- L'alçada que es vol per a cada planta de l'aparcament de forma que es pugui obtenir l'alçada de l'edifici un cop determinades el nombre de plantes que tindrà.
- interval, és la durada de l'interval de pas dels autobusos de connexió entre la terminal i l'aparcament de llarga estada.
- $h_{shuttle}$, la durada de la jornada del servei de connexió entre l'aparcament de llarg termini i la terminal. Aquest paràmetre variarà segons el tipus d'aeroport en el que es faci l'estudi ja que hi ha aeroports que tanquen per la nit i els internacionals no.
- L, és la distància que recorre l'autobús de connexió entre l'aparcament de llarg termini i la terminal.

En el full d'Excel on s'han d'introduir tots els paràmetres indicats, tant els del capítol del desenvolupament metodològic com els d'aquest capítol, apareixen les unitats en què s'ha d'introduir les dades per a obtenir els resultats desitjats.

Un cop introduïdes totes les dades indicades, de l'Excel ja se'n pot treure alguna dada significativa com pot ser la superfície ocupada per l'aparcament de llarg termini, el nombre de plantes que tindrà l'aparcament de curt termini, la inversió a realitzar per a la construcció dels dos aparcaments i la inversió inicial a realitzar en el servei de connexió tal i com es pot veure a la següent imatge.

RESULTATS DE PROJECTE	
Nombre de plantes de l'aparcament de ST	plantes
Superfície en planta ocupada pel LT	m ²
Inversió en el pàrquing de ST	€
Inversió en el pàrquing de LT	€
Inversió en el servei de connexió	€

Figura 15. Resultats relacionats amb la construcció dels aparcaments

A continuació ja es pot calcular els resultats de les diferents TIR explicades anteriorment a partir de macros implementades amb Visual Basic. Per a activar les Macros s'ha de clicar el botó que es desitgi que apareix al full d'Excel com mostra la Imatge 7.



Figura 16. Botó d'activació de les Macros

Per a poder realitzar el càlcul de les Macros, el programa demana a partir de menú de comandaments com el següent que es seleccioni en cada cas el rang de valors corresponent a partir dels quals ha de calcular la Taxa Interna de Rendibilitat desitjada.

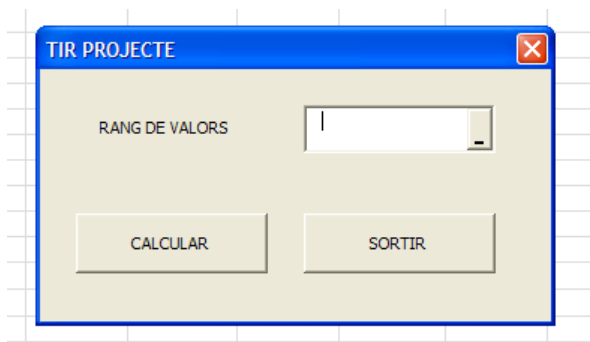


Figura 17. Menú de comandaments de la Macro

El rang a seleccionar és el que està indicat al full d'Excel amb el nom "RANG A TRIAR ..." acabat pel tipus de tir que es vol calcular. Les cel·les corresponents estan ressaltades amb un requadre.

RANG A TRIAR DE LA TIR DEL PROJECTE		x_program	1000	1000	1000	1000	1000	10
	Impostos a pagar		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	(
	Beneficis nets anuals		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	(
RANG A TRIAR TIR PROJECTE DESPRÉS D'IMPOSTOS		x_program	1000	1000	1000	1000	1000	10
dies/vehicle)	Beneficis nets anuals		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	(
dies/vehicle)	diners per tornar		0	0	0	0	0	
€/dia)								
€/dia)	Interessos (t)		0	0	0	0	0	
	Fluxos financers		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	(
	Beneficis acumulats		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	(
RANG A TRIAR TIR FINANÇERA		x_program	1000	1000	1000	1000	1000	10

Figura 18. Mostra del rang a triar

Un cop seleccionat el rang, es prem el botó de "CÀLCUL DE LA TIR" que es pot veure a la imatge 8 i s'obtenen els resultats de les 3 TIR's explicades amb anterioritat en el següent quadre:

RESULTATS ECONÒMICS	
TIR Projecte	
TIR després d'impostos	
TIR financerà	

Figura 19. Resultats de l'estudi de rendibilitat de la inversió

8. ESCENARIS FUTURS

En aquest apartat el que s'ha realitzat és el plantejament de tres situacions en les quals vulgui dissenyar l'aparcament d'un aeroport amb diverses tipologies d'aeroport ben diferenciades. Els aeroports que s'han considerat tenen les següents característiques:

- Hub Internacional
- Aeroport d'àmbit regional però amb demanda turística
- Aeroport d'àmbit domèstic

El que s'intenta és determinar quina és el millor dimensionament per a cada tipologia d'aeroport a partir del criteri utilitzat al llarg de la tesina, la TIR. En condicions normals, a partir d'una TIR del 7-7.5% es considera que un projecte pot ser interessant, però amb la conjuntura econòmica actual cap empresa comença un projecte amb una TIR inferior al 10-11%.

Per tant, l'objectiu d'aquest apartat és determinar les diverses opcions o els llistats de dimensionament que proporcionen aquesta rendibilitat o rendibilitats superiors.

8.1. Hub Internacional

8.1.1. Presentació de les variables

A continuació es caracteritza l'aeroport a partir de totes les variables explicades amb anterioritat i que serviran per a poder calcular la TIR en cada cas.

Taula 4. Caracterització de l'aeroport Hub Internacional

Variable	Valor	Variable	Valor
V_o	34.500.000	χ_1	0.85
μ_{st}	0.04	χ_2	0.1
μ_{lt}	0.06	χ_3	1
ξ	0.8	χ_4	0.4
ρ	0.15	η_{st}	2.3
σ	0.5	η_{lt}	1.9
θ_1	0.6	t_{st}	0.125
θ_2	0.66	t_{lt}	2

θ_3	0.4	τ_{st}	50
θ_4	0.33	τ_{lt}	11

Els valors utilitzats en aquest cas són els mateixos que els utilitzats en l'estudi de la sensibilitat presentat anteriorment.

En aquest cas, les palanques de maniobra utilitzades han estat bàsicament la K i la β , ja que com s'ha vist anteriorment les altres variables no provoquen unes grans variacions en l'objectiu econòmic.

8.1.2. Dimensionament obtingut

Per al dimensionament s'ha considerat que es disposa d'una parcel·la de 350 x 150 m per a l'edificació de l'aparcament de curta estada a prop de la terminal de passatgers.

En el cas del Hub internacional, s'ha trobat que amb una $K = 0.8$, amb $\beta = 0.4$ o superiors s'obté el resultat desitjat. Per tant, la distribució que s'ha de fer en grans aeroports és amb dos aparcaments i un servei de connexió d'autobusos des de l'aparcament de llarga estada fins a la terminal.

La consideració de $K = 0.8$ s'ha determinat perquè es considera que amb els anys d'explotació, les connexions dels nous aeroports internacionals amb els grans nuclis propers mitjançant el Transport Públic siguin cada cop millor i puguin absorbir gran part dels passatgers futurs als que no es podrà donar servei.

8.2. Aeroport regional turístic

8.2.1. Presentació de les variables

A continuació es caracteritza l'aeroport a partir de totes les variables explicades amb anterioritat i que serviran per a poder calcular la TIR en cada cas.

Taula 5. Caracterització de l'aeroport regional turístic

Variable	Valor	Variable	Valor
V_o	5.300.000	χ_1	0.8
μ_{st}	0.03	χ_2	0
μ_{lt}	0.02	χ_3	1
ξ	0.95	χ_4	0.3
ρ	0	η_{st}	2.7
σ	0.6	η_{lt}	2.2
θ_1	0.1	t_{st}	0.083
θ_2	0	t_{lt}	3
θ_3	0.9	τ_{st}	50
θ_4	1	τ_{lt}	11

Les variables preses en aquest cas responen als següents raonaments:

- El percentatge de passatgers que arriben en aquest tipus d'aeroports en transport públic, taxi o similar (60%) s'ha considerat així perquè és un aeroport amb un clar sector econòmic al darrere, que acostuma a utilitzar serveis de recollida a l'aeroport i transport fins als hotels per part dels agents turístics.
- Es considera que de tots els vols de curta durada, un 10% són de negocis, posant de manifest la clara tendència d'aquest aeroport.
- Per altra banda, als vols de llarga durada, només es comptabilitzen vols de plaer, ja que els vols de llarga durada per negocis no acostumen a arribar a aeroports de segona línia amb vocació turística.
- Aquest tipus d'aeroport normalment estan situats a una certa distància dels aeroports principals de les capitals o ciutats importants dels països, per això, s'ha considerat que quan algú es desplaça a aquests aeroports, omple els vehicles per a economitza els trajectes.
- La durada de l'estada dels passatgers de curta estada, s'ha reduït, ja que en ser un aeroport de dimensions més reduïdes que el Hub internacional, totes les gestions es realitzen amb més facilitat, per tant, les estades dels usuaris es redueixen.
- Al contrari passa amb les estades del usuaris de llarga estada, degut a que és un aparcament clarament turístic, tan en un sentit com en un altre, els usuaris que utilitzin els serveis de llarga estada estaran més temps que si van a treballar.

- Les tarifes utilitzades en aquest cas són les mateixes que les de l'altre aeroport pel fet que són aeroports que depenen de la mateixa autoritat aeroportuària i per tant, és normal que els preus siguin homogenis.

8.2.2. Dimensionament obtingut

Per al dimensionament dels aparcaments d'aquest aeroport les dimensions de la parcel·la disponible davant de la terminal de l'aeroport s'ha considerat de 100 x 40 m. L'aparcament de llarga estada es situa més a prop que en cas dels aeroports internacionals, ja que la infraestructura en general és més petita. Es situa a 800 m de distància de la terminal.

Degut a que la quantitat de passatgers a traslladar des de l'aparcament de llarga estada fins a la terminal és bastant més reduït, la quantitat de vehicles que formen la flota de reserva del servei d'autobusos es redueix de 3 a 1.

Un cop s'han determinat aquestes variables s'arriba a la conclusió que totes les combinacions de passatgers que es proven tenen una rendibilitat superior a la llindar. La millor és la que situa el 90% de les places als aparcaments de curta estada a prop de la terminal, en un edifici de dues plantes i un aparcament de llarga estada de 800 m² situat a 800 m de distància. La TIR obtinguda en aquest cas és del 24.5%, perquè la inversió no és molt elevada i permet obtenir una gran ocupació en el curt termini, que és el que dona més diners.

S'ha de destacar, que com que totes les opcions són vàlides, es podria haver plantejat situar tots els vehicles en la mateixa edificació i realitzar una separació de plantes o zones segons la tipologia d'aparcament que realitza cada vehicle, però en el cas de les dimensions triades, el fet de portar les places de llarga estada a l'edifici de curta estada, provocava un salt d'escala i l'obligació de construir una nova planta. Apart, és una opció que complica una mica l'operativitat interna de cada aparcament, ja que s'ha de fer triar als usuaris per on van segons quan temps estaran.

Tot i això, en aeroports petits, fins i tot mitjans, depenent de les característiques dels usuaris i del seu comportament, és una alternativa a considerar.

8.3. Aeroport domèstic

8.3.1. Presentació de les variables

A continuació es caracteritza l'aeroport a partir de totes les variables explicades amb anterioritat i que serviran per a poder calcular la TIR en cada cas.

Taula 6. Caracterització de l'aeroport domèstic

Variable	Valor	Variable	Valor
V_o	200.000	χ_1	0.9
μ_{st}	0.03	χ_2	0
μ_{lt}	0	χ_3	1
ξ	1	χ_4	0
ρ	0	η_{st}	1.5
σ	0.3	η_{lt}	1
θ_1	0.7	t_{st}	0.083
θ_2	0	t_{lt}	3
θ_3	0.3	τ_{st}	50
θ_4	0	τ_{lt}	11

Com es pot observar, les dimensions d'aquest aeroport són molt reduïdes i amb un trànsit anual un ordre de magnitud per sota del regional. En aquest cas les variables que determinen el càlcul de la Tir són les següents:

- El percentatge de passatgers que accedeixen a l'aeroport en transport públic i taxi en aquest cas és d'un 30%, ja que són aeroports que no es troben en poblacions amb unes xarxes de transport públic molt desenvolupades i les connexions amb l'aeroport no són molt bones.
- En aquest cas, no es considera cap passatger de vols de llarga durada, ja que és un aeroport amb un trànsit exclusivament domèstic.
- La distribució de la tipologia de vols és diferent que als altres, en aquesta tipologia d'aeroports, la gran majoria dels usuaris es desplacen per feina des d'aquestes poblacions a les ciutats grans del país.
- Pel que fa a l'ocupació dels vehicles, s'ha disminuït bastant, ja que la quantitat

d'usuaris que utilitzin l'aparcament serà molt reduït i a més, el més probable és que tots aquests usuaris utilitzin el seu propi mitjà de transport.

- En aquest cas la durada que s'ha utilitzat és la mateixa que la de l'aeroport regional.
- Les tarifes utilitzades són les mateixes que als altres aparcaments tot i que a continuació es comenta alguna possibilitat d'actuació en aquest sentit.

8.3.2. Dimensionament obtingut

El disseny obtingut a partir de les variables explicades amb anterioritat és el d'un aparcament superficial situat al costat de l'aparcament. No té cap sentit plantejar un escenari amb una separació dels aparcaments en curta i llarga estada, perquè la necessitat de places a l'aparcament és de 72 places. A més, el fet de tenir dos aparcaments, obliga a tenir una flota d'autobusos o furgonetes d'almenys dues unitats, que degut a la inversió reduïda a realitzar, suposen un augment considerable dels costos d'inversió i d'explotació totalment innecessaris. El fet d'augmentar aquests costos, fa que la TIR d'un 13% es redueixi a per sota de 9-10%, fet que fa que la inversió ja no sigui tan rendible.

L'aparcament projectat, s'ha considerat de llarga estada, i per tant, amb una tarifa bastant reduïda pel que fa als usuaris que l'utilitzin com a curt termini. La rendibilitat que se n'obté és suficient per a poder acceptar sense problemes el projecte, però potser s'hauria d'estudiar la possibilitat de augmentar una mica la tarifa per als usuaris que estiguin només unes hores.

9. CONCLUSIONS I INVESTIGACIÓ FUTURA

Com s'ha pogut veure al llarg de tota la tesina realitzada, els aparcaments associats a qualsevol infraestructura poden arribar a ser molt rendibles i més en el cas dels aeroports on, per les característiques intrínseques a la seva situació, el tornen una peça clau en la viabilitat de les economies dels aeroports.

La identificació i el calibrat de totes les variables que intervenen en el procés d'obtenció de la quantitat de places necessàries per als aparcaments de l'aeroport s'ha de realitzar amb una gran precisió per a obtenir resultats fiables.

9.1. Conclusions

L'estudi de sensibilitat de la rendibilitat de la inversió realitzat ha aportat les següents conclusions:

- Els paràmetre β , que fa referència a la distribució final de places entre els aparcaments de curt i llarg termini i la K, que fa referència al percentatge de vehicles als que es volen donar servei a l'any horitzó, són els únics paràmetres que es poden considerar una palanca de maniobra amb conseqüències importants sobre la rendibilitat del projecte.
- La gràfica del paràmetre β no pot interpretar-se com una eina de decisió definitiva, ja que d'aquesta manera, tots els aparcaments dels aeroports es realitzarien al costat de les terminals en edificis de dimensions molt importants. Aquesta situació no és sostenible ja que no és funcional perquè hi ha dos patrons de comportament molt marcats en els passatgers. Aquest fet que provocaria dues realitats referents a la rotació de vehicles convivint en un mateix espai. Per altra banda, els accessos a l'aparcament i els vials d'accés a les plantes i de circulació interna haurien de ser molt importants amb un cost gens menyspreable per a poder assegurar que ni a l'exterior ni sobretot a l'interior de l'aparcament es generen cues. Per tant, el dimensionament que s'ha de realitzar és considerant que l'aparcament de curt termini ha de ser tan gran com es pugui però tenint present que s'ha de donar una resposta suficient als passatgers de llarga estada sense tenir problemes de dimensionament ni dels accessos ni de la circulació interior.
- La gràfica de la K, s'ha d'analitzar també amb una mica de calma, perquè si s'agafa directament, els aparcaments que es dimensionarien serien relativament petits. La

conclusió que se'n pot despendre és que a partir d'un horitzó de dimensionament a partir del qual es realitza el dimensionament, com més gran és el percentatge de passatgers als que es vol donar servei més petita serà la rendibilitat obtinguda. D'aquesta forma, el que es proposa és considerar l'opció de prendre dos horitzons temporals diferents: un per al dimensionament i un per a la concessió. Per poder obtenir aquesta situació es pot realitzar de dues maneres, a partir de la data de la concessió inicial, realitzar el dimensionament amb un any horitzó inferior a aquest any final de concessió de forma que es tenen més anys per a recuperar la inversió i obtenir beneficis. L'altra forma és realitzar un dimensionament per un any objectiu amb el màxim percentatge de servei i posteriorment negociar la concessió per allargar el final dels ingressos. El que no pot ser és que per a obtenir rendibilitats molt elevades es deixi un 40-50% dels usuaris potencials dels aparcaments sense poder utilitzar-lo, perquè tal i com s'ha dit al llarg de la tesina, l'aeroport ha de donar el màxim servei a l'usuari apart d'obtenir el màxim benefici amb l'aparcament.

- Els paràmetres que fan referència a la distància a la que es troba l'aparcament de llarga estada respecte a la terminal i l'interval de pas dels autobusos de connexió no són uns paràmetres a considerar si es vol millorar el resultat econòmic del projecte amb variacions importants si l'aeroport amb què s'està tractant és de dimensions considerables, perquè si és petit o fins i tot mitjà la seva influència pot arribar a ser important. Remarcant que tot i que es considera que no influeix i que per tant es podria variar tan com es volgués, l'interval de pas no es pot modificar tan com es vulgui degut a que té unes limitacions estructurals a tenir presents com és la capacitat dels autobusos, per tant, en cada cas s'ha d'estudiar la quantitat de passatgers als que s'haurà de donar servei amb el servei d'autobusos llançadora i limitar superiorment l'interval de pas a aquell valor.
- De la variació en les tarifes s'extreu que podrien arribar a influir, sobretot la tarifa de l'aparcament de llarg termini, però com s'ha dit anteriorment, s'hauria de fer un estudi exhaustiu que tingués present el canvi en el comportament dels passatgers a l'hora d'utilitzar els aparcaments de l'aeroport segons la variació de les tarifes.
- S'ha de tenir controlats tots els paràmetres relacionats amb el trànsit aeri mundial i amb el comportament dels passatgers ja que variacions respecte les estimacions inicials poden provocar desviacions molt importants del resultat econòmic final. El paràmetre al que és més sensible la rendibilitat del projecte és el percentatge de passatgers que arriben mitjançant el transport públic col·lectiu o el taxi.

Tots els resultats que es dedueixen de l'estudi de sensibilitat s'han interpretat només en la tendència que prenia la TIR davant de la variació dels diferents paràmetres. Aquest fet respon a la impossibilitat d'obtenir paràmetres fiables amb els quals poder contrastar el model proposat en la tesina per part de les autoritats competents i de les empreses que treballen en el sector consultades.

El dimensionament dels aeroports com s'ha vist en els últims apartats no es pot realitzar només a partir de criteris exclusivament de rendibilitat de la inversió, ja que es pot arribar a obtenir distribucions econòmicament viables però sense cap mena de sentit funcionalment parlant per la situació concreta de cada aeroport. Per altra banda, també s'ha de mirar quin són els objectius que es marquen a llarg termini perquè un cop s'arribi al llindar de capacitat dels aparcaments, es produeix un augment dels costos generalitzats dels usuaris considerable.

Aquest augment dels costos generalitzats pot portar a que la bona imatge que pugui tenir l'aeroport i els seus aparcaments es pugui veure afectada per tots els usuaris que es veuen obligats a utilitzar altres modes de transport no desitjats en el seu accés a la terminal i a la llarga perdre volum d'usuaris i reduir la rendibilitat dels últims anys de la concessió.

Per a l'obtenció de tots els càlculs necessaris per a l'obtenció de totes aquestes consideracions finals s'ha realitzat un model d'Excel que ha permès obtenir una eina de presa de decisions a partir de la qual es pugui obtenir un ordre de magnitud de les inversions a realitzar.

9.2. Investigació futura

Després de tot l'estudi realitzat sobre els factors que influeixen en la rendibilitat del projecte, una línia d'investigació futura ja ha quedat expressada durant l'explicació dels costos dels aparcaments. Els costos dels usuaris no influeixen en els resultats obtinguts del model, ja que com s'ha vist al llarg de la tesina, els costos de l'usuari varien amb el temps i amb la realitat dels aparcaments. Una línia d'investigació seria detallar i obtenir un model dels costos dels usuaris en el seu accés a la terminal i creuar-lo amb el del gestor de la infraestructura i d'aquesta forma trobar un equilibri entre els dos punts de vista.

Un altre punt interessant d'investigació futura, seria el poder introduir com varien els patrons de comportament dels usuaris davant de les modificacions de les tarifes.

Un altre factor on es podria desenvolupar una futura investigació és en la determinació de forma precisa de la freqüència del servei d'autobusos de connexió en funció del *Airport Operational Planning* de forma que els costos d'aquest servei estiguessin calculats de forma molt més precisa.

I per últim i en relació amb el servei de connexió, una altra línia d'investigació podria considerar un dels actors principals a l'aeroport i que en la tesina no s'ha tingut present, els treballadors de la terminal. És un col·lectiu amb un volum molt considerable i amb unes característiques especials pel que fa a la rotació de personal fet que s'hauria d'estudiar amb detall per al dimensionament del seu aparcament i el servei de connexió amb la terminal.

10. REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

Airport Cooperative Research Program, 2009. Guidebook for Evaluating Airport Parking Strategies and Supporting Technologies. Report 24.

Airport Cooperative Research Program, 2010. Handbook to Assess the Impact of Constrained Parking at Airports. Report 34.

Aldrige, K., Carreno, M., Ison, S., Rye, T., Straker, I., 2006. Car parking management at airports: A special case?. *Transport Policy* 13. 511 – 521.

Byren, B.F., 1975. Public transportation line positions and headways for minimum user and System cost in a radial case. *Transportation Research*. 97 – 102.

Caicedo Murillo, F., 2005. Gestión de aparcamientos subterráneos. 13-20.

De Neufville, R., 1982. Airport Passenger Parking Design. *Transportation Engineering Journal of ASCE*. Vol 108 NOTE 3. May 1982.

De Neufville, R., Odoni, A., 2003. *Airport Systems: Planning, Design and Management*. McGraw-Hill.

Echegaray, F., 2007. The South Terminal. Barcelona Airport. Aena Aeropuerto de Barcelona.

Ison, S., Humphreys, I., Rye, T., 2007. UK airport employee car parking. The role of a charge?. *Journal of Air Transport Management* 13. 163 – 165.

Martínez Cuat, F., Trapote Barreira, C., 2009. Modelo de diseño de redes de Servicios interurbanos BRT complementarios a la oferta de transporte público en áreas urbanas. Tesina d'especialitat ETSECCPB-UPC.

Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, 1995. Análisis de la capacidad de las infraestructuras aeroportuarias. 113 – 124.

Nadal Estrada, J., 2008. *Arte del parking: manual de diseño, construcción y gestión del aparcamiento*. Grupo Difusión. Capítulo 1.

Rabaza Giner, J., Estrada Romeu, M., 2009. Tamaño vehicular óptimo para el servicio de transporte público de superficie. Tesina d'especialitat ETSECCPB-UPC.

Robusté, F., *Apunt de Transports II*. ETSECCPB-UPC.

Segurana Sardà, O., Robusté Antón, F. i Estrada Romeu, M. ,2006. Disseny òptim de sistemes Bus Rapid Transit (BRT's). Tesina d'especialitat ETSECCPB-UPC.

Pàgines web consultades

Pàgina web de AENA;	www.aena.es
Pàgina web de consulta general;	www.wikipedia.es
Pàgina web de l'Institut Nacional d'Estadística;	www.ine.es
Pàgina web de l'Institut d'Estudis Turístics;	www.iet.tourspain.es
Pàgina web de l'aparcament de llarga estada;	www.largaestancia.com/barcelona